

INSTITUT FÜR BAUSTOFFKUNDE UND STAHLBETONBAU  
DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG  
DIREKTOREN: PROF. DR.-ING. K. KORDINA – PROF. DR.-ING. G. REHM

B e r i c h t

über die

"Langzeit-Verformungsmessungen an der Leicht-  
Spannbetonbrücke bei Gittelde/Harz"

vorgelegt von

Olaf Hjorth

Braunschweig, im Dezember 1971

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorbemerkung . . . . .	1
1. Laborversuche . . . . .	2
2. Messungen am Bauwerk . . . . .	4
2.1 Aufgabenstellung . . . . .	4
2.2 Bauwerksabmessungen und Konstruktion . . . . .	4
2.3 Meßeinrichtung und Meßgenauigkeit . . . . .	5
2.4 Einfluß der Temperatur . . . . .	6
2.4.1 Ermittlung der Wärmeausdehnungskoeffizienten . . . . .	7
2.4.2 Bestimmung der tatsächlichen Materialtemperaturen zum Zeitpunkt der Messungen . . . . .	8
2.5 Einfluß der Luftfeuchtigkeit . . . . .	14
3. Auswertung der Langzeitmessungen . . . . .	15
3.1 Längenänderungen . . . . .	15
3.2 Durchbiegungs- und Setzungsmessungen . . . . .	19
4. Zusammenfassung . . . . .	21
Literaturverzeichnis . . . . .	II
Anlagenverzeichnis . . . . .	III
Anhang A . . . . .	A 1 - 4
Anhang B . . . . .	B 1 - B 33

## Langzeit-Verformungsmessungen an der Leicht-Spannbetonbrücke bei Gittelde/Harz

### Vorbemerkung

Im Jahre 1967 waren im Zuge der Neubaustrecke der Bundesstraße 243 am Südwestrand des Harzes mehrere Kreuzungsbauwerke zu erstellen, von denen die Brücke "G1 2" über eine Kreisstraße bei Gittelde wegen Gründungsschwierigkeiten nicht in der zunächst vorgesehenen Schwerbetonbauweise ausgeführt werden konnte. Man entschied sich daher - erstmals in der Bundesrepublik - für eine Überbaukonstruktion aus vorgespanntem Leichtbeton (vergl. [1]).

Für den vorgesehenen Blähschiefer-Leichtbeton (Zuschlag "Norlit" der Firma Nordciment A.G., Hoiersdorf bei Helmstedt) sollten im Institut für Baustoffkunde der Technischen Universität Braunschweig kurzfristig die für die statische Berechnung notwendigen Materialkennwerte durch Laborversuche ermittelt werden. Genauere Aussagen über das zu erwartende Langzeit-Verhalten (Kriech- und Schwindmaß) konnten aufgrund der erst 3 Monate vor Baubeginn begonnenen Labormessungen derzeit noch nicht gemacht werden. Jedoch zeigte das Verformungsverhalten der Versuchskörper in den folgenden 3 Jahren (vergl. [2]), daß die für die Berechnung gewählten Schätzwerte

$$\varphi_{\infty} = 2,7 \cdot k \quad \text{und}$$

$$\varepsilon_{s\infty} = 0,6 \cdot k \cdot 25 \cdot 10^{-5}$$

auf der sicheren Seite lagen.

Ungewiß waren ferner die im Gebrauchszustand auftretenden Durchbiegungen und Längenänderungen des vorgespannten Überbaus. In der Brücke wurden deshalb Meßeinrichtungen eingebaut (vergl. Abschnitt 2.3), an denen in der Folgezeit - nunmehr 4 Jahre - das Verformungsverhalten beobachtet werden konnte.

Über die Ergebnisse der Langzeitmessungen wird im folgenden berichtet.

## 1. Laborversuche

Im Rahmen der betontechnologischen Voruntersuchungen wurden vom Institut für Baustoffkunde und der bauausführenden Firma Lenz-Bau-A.G. gemeinsam verschiedene Laborversuche konzipiert. Diese dienten in erster Linie der Wahl der geeigneten Betonzusammensetzung und der Ermittlung der Festigkeitswerte. Außerdem wurde die Eignung verschiedenartiger Feinstzuschläge (EFA-Füller und Quarzsand) und deren Einfluß auf das Langzeitverhalten untersucht (vergl. [2]).

In diesem Bericht werden zum Zwecke des Vergleichs mit dem Langzeitverhalten der Brücke nur die Meßergebnisse an denjenigen Prüfkörpern mitgeteilt, die in ihrer Zusammensetzung etwa dem Brückenbeton entsprachen.

In nachfolgender Tafel 1 ist die Zusammensetzung des Brückenbetons und des zum Vergleich herangezogenen Laborbetons gegenübergestellt (s. auch Anlage 1):

T a f e l 1: Zusammensetzung von Labor- und Brückenbeton

Anteile pro 1 m <sup>3</sup> verdichteten Betrns (trockene Zuschläge)	Laborbeton		Brückenbeton	
	kp	dm <sup>3</sup>	kp	dm <sup>3</sup>
Normensand I            0/0,2	66	27	70	29
Blähschiefer            0/3	502	264	475	250
"                    3/7	209	155	280	207
"                    7/15	287	230	235	188
Gesamtwasser	233	233	190	190
Zement PZ 375 (Alemannia)	370	119	390	126
Cerinol BV-flüssig (0,2 %)	740 cm <sup>3</sup>		780 cm <sup>3</sup>	
W/Z-Faktor	0,63		0,49	
Verdichtungsmaß v nach Walz	1,19		1,19	

Den Vergleich der Festigkeitswerte zeigt die folgende Zusammenstellung, wobei allerdings zu bemerken ist, daß vermutlich die Laborbeton-Würfel mit einer höheren Belastungsgeschwindigkeit geprüft wurden, wodurch bei Leichtbeton kleinere Bruchlasten (im Gegensatz zu Normalbeton) erreicht werden. Eine echte 10 %-ige Mehrfestigkeit des Brückenbetons dürfte jedoch der Wirklichkeit entsprechen.

T a f e l 2: Festigkeitswerte von Labor- und Brückenbeton

Festigkeitswert	Laborbeton	Brückenbeton
Würfelfestigkeit nach 8 Tagen	318 kp/cm <sup>2</sup>	429 kp/cm <sup>2</sup>
" nach 28 Tagen	368 kp/cm <sup>2</sup>	470 kp/cm <sup>2</sup>
" $\beta_{w\infty}$	ca. 470 kp/cm <sup>2</sup>	ca. 560 kp/cm <sup>2</sup>
E-Modul nach 8 Tagen	178 Mp/cm <sup>2</sup>	-
" $E_{\infty}$	ca. 205 Mp/cm <sup>2</sup>	-
Rohwichte $\gamma$	1,62 kp/dm <sup>3</sup>	1,65 kp/dm <sup>3</sup>

Für die E-Modul-Messung des Brückenbetons standen keine besonderen Prüfkörper zur Verfügung. Dieser wurde aus der elastischen Verkürzung beim Spannvorgang errechnet und zeigt - unter Berücksichtigung der schlaffen Bewehrung des Überbaus - die zu erwartende Größe (vergl. Abschnitt 3.1).

Die aufgebrachte Dauerlast betrug bei den Laborkörpern

$$\sigma_D \approx \frac{1}{3} \cdot \beta_w = 110,5 \text{ kp/cm}^2$$

Den Verlauf der gemessenen Verformungen zeigt Anlage 2. Eine Übersicht der Verformungswerte gibt die nachfolgende Tafel 3:

T a f e l 3: Verformungswerte des Laborbetons unter Dauerlast

Dauerspannung	Verformungswerte					
$\sigma_D$ [kp/cm <sup>2</sup> ]	rechnerische elastische Verkürzg. $\epsilon_{el}$ [°/∞]	gemessene Verkürzung 5 min nach Erreichen d. Dauerlast [°/∞]	Endschwindmaß $\epsilon_{s\infty}$ [°/∞]	Endkriechmaß $\epsilon_{k\infty}$ [°/∞]	bezogenes Endkriechmaß $\bar{\epsilon}_{k\infty}$ $\left[ \frac{10^{-6}}{\text{kp/cm}^2} \right]$	Endkriechzahl $\gamma_{\infty} = \frac{\epsilon_{k\infty}}{\epsilon_{el}}$
110,5	- 0,620	- 0,686	~ - 0,30	- 0,85	- 7,7	1,37

Die Langzeituntersuchungen des Labor-Leichtbetons weisen somit etwa gleiches Kriech- und Schwindverhalten wie ein normaler Schwerbeton auf. Die Endkriechzahl  $\epsilon_{\infty}$  liegt wegen der größeren elastischen Zusammendrückung (kleinerer E-Modul) jedoch niedriger.

Da die Zusammensetzung des Laborbetons vom Beton der Brücke etwas abweicht, kann er bei der Deutung der gemessenen Brückenverformungen nur mit einigen Vorbehalten zum Vergleich herangezogen werden. Insbesondere wird der kleinere W/Z-Faktor des Brückenbetons geringere Schwind- und Kriechverformungen bewirken.

## 2. Messungen am Bauwerk

### 2.1 Aufgabenstellung

Die anhand von Versuchskörpern im Laborklima ermittelten Kriech- und Schwind-eigenschaften gestatten im vorliegenden Falle - ganz abgesehen von der etwas veränderten Betonzusammensetzung - keine sichere Prognose für das Langzeitverhalten des Bauwerks, insbesondere wegen der unterschiedlichen Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse, aber auch wegen der Form- und Größenunterschiede zwischen den unbewehrten Laborproben und dem bewehrten und damit stark kriech- und schwindbehinderten Bauwerk.

Es sollten daher die tatsächlichen zeitabhängigen Verformungen über die gesamte Überbaulänge ermittelt und gleichzeitig Kriech- und Schwindanteile getrennt erfaßt werden. Außerdem sollten unabhängig von den Längsverformungen die vertikalen Durchbiegungen des Überbaus und die Setzungen der Unterbauten über längere Zeit kontrolliert werden.

### 2.2 Bauwerksabmessungen und Konstruktion

Die Lage und die Abmessungen des Bauwerks sind aus Anlage 3 zu ersehen. Zu den Unterbauten ist zu bemerken, daß die Fundamente nachträglich umspundet und die Zwischenräume zwischen Fundament- und Spundwandprofil mit bewehrtem Beton ausgefüllt wurden. Dadurch solltendie Grundbruchgefahr beseitigt und das Setzmaß verringert werden.

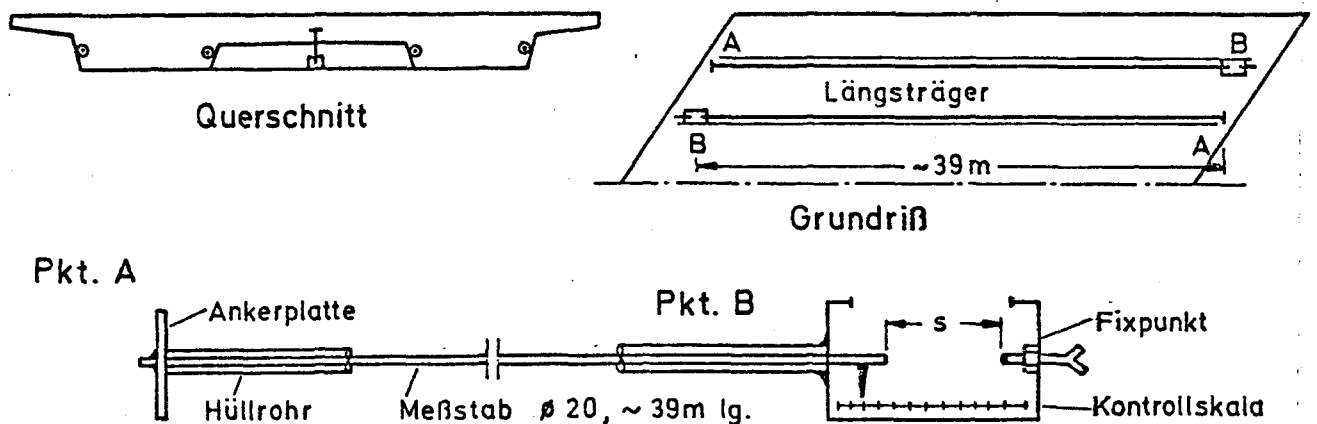
Der Leichtbetonüberbau ist in Längs- und Querrichtung vorgespannt. Die Lage der Spannglieder ist in Anlage 4 dargestellt. Der Anteil der schlaffen Bewehrung in Längsrichtung beträgt rd. 0,5 % des Längsträgerquerschnitts.

### 2.3 Meßeinrichtung und Meßgenauigkeit

Die Meßeinrichtungen für die Längenänderungen sind in den Anlagen 5 und 6 dargestellt und wurden bereits in Lit. [1] beschrieben.

Als Meßstäbe wurden vor dem Betonieren durch Hüllrohre geschützte Rundstähle  $\varnothing 20$  mm, ca 39 m lang, von einem Brückenende zum anderen verlegt (s. Skizze).

Das Meßstabende A wurde dabei fest im Beton verankert, während das freie Ende bei B in einen von außen zugänglichen und verschließbaren stählernen



Meßkasten mündete, in welchem die Strecke s zwischen Meßstabende und einem Fixpunkt (Stahlbolzen) gemessen werden konnte. Insgesamt wurden 4 dieser Meßstäbe, je einer an jeder Hauptträgerseite in mittlerer Höhe der Stege, mit etwa 10 cm Betondeckung eingebaut (s. Anlage 5).

Die über die Meßstrecke s gemessenen relativen Längenänderungen zwischen Überbau und Meßstab stellen, abgesehen von Temperatureinwirkungen und der anfänglichen elastischen Verkürzung infolge Vorspannung, die Gesamt-Längenänderungen infolge Kriechen und Schwinden dar. Um den Einfluß des Schwindens eliminieren zu können, wurden an nahezu spannungsfreien Stellen in der Mitte der Endquerträger zusätzlich vertikale Meßstäbe von 0,75 m Länge zur Ermittlung des reinen Schwindmaßes angeordnet, deren Einbettung, Verankerung und Meßvorrichtung denen der Längsmeßstäbe entspricht (s. Anlage 6).

Für die Messung der Durchbiegungen und Fundamentsetzungen wurden übliche Nivellierbolzen jeweils in Feldmitte und über den Stützen des Überbaus sowie an verschiedenen Punkten der Unterbauten angebracht. Ihre Anordnung zeigt Anlage 7 .

Bei den ersten, täglich durchgeführten Messungen der Längenänderung wurde die Meßstrecke ( $s \approx 10$  cm) mittels fest montierter 1/100-mm-Meßuhren gemessen, die jedoch für längeren Verbleib in den Meßkästen des Bauwerks nicht geeignet waren. Deshalb wurde für die späteren vierteljährlichen Langzeitmessungen eine Mikrometerschraube verwendet, die jeweils in alle Meßstrecken eingepaßt werden konnte und ebenfalls Ablesungen bis auf 1/100 mm gestattete. Mit diesen Instrumenten konnten - bei der Meßstablänge von ca. 40 m - demnach Dehnungen des Überbaus von weniger als  $0,001 \text{ }^{\circ}/\text{oo}$  erfaßt werden. Bei beiden Meßmethoden war zusätzlich eine Grobkontrolle an einer Meßskala (im Meßkasten aufgeklebtes Metallmeßband unter einem am Meßstab befestigten Zeiger) mit 0,5 mm-Teilung ( $\hat{=} 0,01 \text{ }^{\circ}/\text{oo}$ ) möglich.

Die reinen Schwindmessungen an den 0,75 m langen Vertikalstäben mit einer Meßstrecke von ebenfalls 100 mm wurden mit einem 1/1000-Setzdehnungsmesser, Bauart Pfender, durchgeführt, so daß - bezogen auf die im Vergleich zu den Längsmessungen wesentlich kürzere Meßstablänge - der reine Schwindanteil fast in der gleichen Größenordnung erfaßt werden konnte.

#### 2.4 Einfluß der Temperatur

Da die einzelnen Messungen bei teilweise stark unterschiedlichen Temperaturen vorgenommen wurden, mußte der Temperatureinfluß bei der Auswertung der Messungen eliminiert werden. Die Beziehung zwischen einer im Materialquerschnitt gleichmäßig auftretenden Temperaturänderung und der zugehörigen Dehnung lautet allgemein

$$\varepsilon = \alpha_t \cdot \Delta T,$$

d. h. die Längenänderung eines homogenen Körpers von der Länge  $l$  beträgt

$$\Delta l = \alpha_t \cdot \Delta T \cdot l$$

Für die Anwendung dieser Beziehung bei der Korrektur der gemessenen Längenunterschiede der Brücke ist dabei die Kenntnis der Wärmeausdehnungskoeffizienten  $\alpha_t$  und der tatsächlichen jeweiligen Temperaturen sowohl des Leichtbetonquerschnitts als auch des Stahlmeßstabes erforderlich.



## 2.41 Ermittlung der Wärmeausdehnungskoeffizienten

Der  $\alpha_t$ -Wert des Stahles kann zu  $\alpha_{t \text{ Stahl}} = 1,2 \cdot 10^{-5}$  angenommen werden.

Der Temperatúrausdehnungskoeffizient des Leichtbetons konnte auf dem Versuchswege bestimmt werden. Dazu wurden die für die Schwindmaßermittlung im Laborklima hergestellten zylindrischen Versuchskörper verwendet, indem in mehreren Temperaturbereichen bei nahezu konstanter Luftfeuchte mittels eines 50 cm-Setzdehnungsmessers (Meßgenauigkeit 0,002 ‰) die Abstandsänderung zwischen den Meßmarken bei Temperaturänderungen von 5 °C und 10 °C festgestellt wurde. Aus diesen Meßwerten wurde der  $\alpha_t$ -Wert des Leichtbetons (s. Anhang, Teil A), d. h. die Dehnung pro °C Temperaturdifferenz, zu

$$\alpha_t = 0,76 \cdot 10^{-5}$$

ermittelt.

Dieser Wert stimmt mit anderen, aus der Literatur bekannten Meßergebnissen an unbewehrten Leichtbetonproben gut überein. Da keine bewehrten Leichtbetonproben zur Verfügung standen, konnte der Einfluß der Bewehrung auf den  $\alpha_t$ -Wert nur überschläglich abgeschätzt werden. Geht man von der Überlegung aus, daß bei Erwärmung um 1 °C und Dehnungsbehinderung im Stahlstab eine Druckkraft von der Größe

$$D = (\alpha_{t \text{ St}} - \alpha_{t \text{ LB}}) \cdot E_{\text{St}} \cdot F_e$$

entsteht und diese durch den Verbund in voller Größe als Zugkraft auf den Beton übertragen wird, so ergibt sich für die zusätzliche Dehnung des Betons pro °C

$$\Delta \alpha_{t \text{ LB}} = \frac{D/F_b}{E_b} = (\alpha_{t \text{ St}} - \alpha_{t \text{ LB}}) \cdot \frac{E_{\text{St}}}{E_{\text{LB}}} \cdot \frac{F_e + F_z}{F_{\text{LB}}},$$

wobei  $\frac{F_e + F_z}{F_{\text{LB}}} = \mu_{\text{ges}}$  den Gesamtbewehrungsgehalt einschließlich schlaffer Bewehrung und Spannstahl darstellt.

Der Wärmeausdehnungskoeffizient des bewehrten Leichtbetonquerschnitts

$$\alpha_{t \text{ LB}}^* = \alpha_{t \text{ LB}} + \Delta \alpha_{t \text{ LB}}$$

beträgt somit für die praxisüblichen niedrigen Bewehrungsgrade näherungsweise:

$$\underline{\alpha_{t \text{ LB}}^* = \alpha_{t \text{ LB}} + (\alpha_{t \text{ St}} - \alpha_{t \text{ LB}}) \cdot n \cdot \mu_{\text{ges}}}$$

Mit  $\alpha_{t \text{ LB}} = 0,76 \cdot 10^{-5}$ ,  $\alpha_{t \text{ St}} = 1,2 \cdot 10^{-5}$  und

$$\mu_{\text{ges}} = \mu_s + \mu_z \approx 0,5 + 0,5 = 1 \% \quad \text{ergibt sich}$$

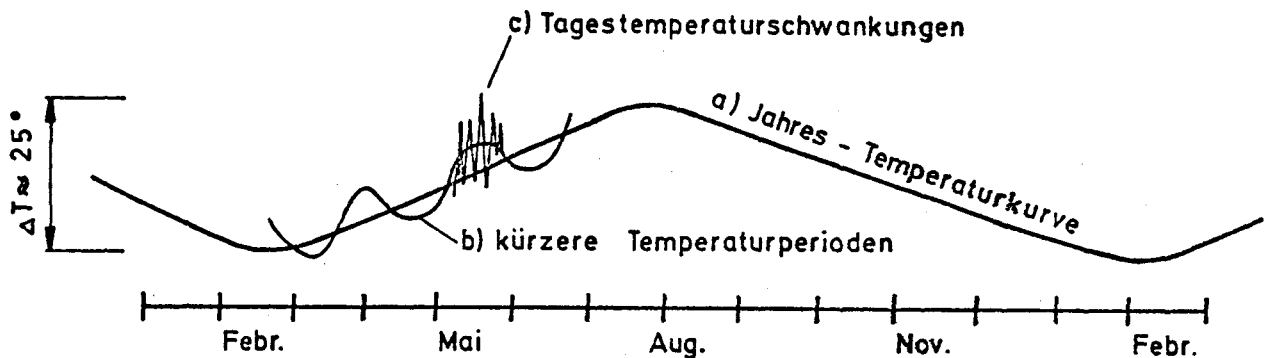
$$\begin{aligned} \underline{\alpha_{t \text{ LB}}^*} &= [0,76 + (1,2 - 0,76) \cdot \sim 10 \cdot 0,01] \cdot 10^{-5} \\ &= (0,76 + 0,044) \cdot 10^{-5} \approx \underline{\underline{0,80 \cdot 10^{-5}}} \end{aligned}$$

#### 2.4.2 Bestimmung der tatsächlichen Materialtemperaturen zum Zeitpunkt der Messungen

Beim Bau der Brücke wurde auf die Montage von Temperaturmeßgeräten im Innern des Überbauquerschnitts und an den Meßstäben leider verzichtet. Da auch keine Temperatur-Meßlöcher für Stabthermometer vorgesehen wurden, ist eine nachträgliche Abschätzung der Materialtemperaturen vom Leichtbeton und dem Stahl-Meßstab anhand der bei den Ablesungen gemessenen Lufttemperaturen und der Protokollbemerkungen zum Wetter nur in sehr grober Näherung möglich.

Die Temperaturschwankungen unterliegen gewissen Regelmäßigkeiten. Man kann unterscheiden

- a) Jahreszeitliche Temperaturschwankungen,
- b) Kurzfristige (monatliche bis wöchentliche), wetterlagebedingte Temperaturperioden und
- c) Tages-Temperaturschwankungen.



Die jahreszeitliche Temperaturkurve erreicht i. a. im Februar ihren Tiefstpunkt und im Juli/August ihr Maximum.

Die Temperaturunterschiede zwischen Minimalwert und dem Maximum der mittleren Tagestemperatur liegen in der Größenordnung von  $25^\circ\text{C}$ . Bei der halben Periodendauer von 180 Tagen beträgt die Temperaturanstiegsgeschwindigkeit (bzw. Abfall) ca.  $25^\circ/180 = 0,14^\circ/\text{Tag}$  oder rd.  $1^\circ\text{C}$  pro Woche.

Dieser langsamen Temperaturveränderung der Luft kann ein normaler Brückenüberbau i. a. gut folgen, d. h. er erreicht bei nur geringer Phasenverschiebung von wenigen Tagen auch in den inneren Querschnittsteilen die mittlere Lufttemperatur. Nur bei sehr dicken Bauteilen kann die Phasenverschiebung in der Größenordnung von einigen Wochen liegen, wie z. B. Untersuchungen der Kernzonen eines Wehrpfeilers (vergl. Lit. [3]) gezeigt haben. Auch hier erreicht jedoch die Temperaturamplitude fast die gleiche Größe wie die mittlere Lufttemperatur.

Ähnliche Verhältnisse herrschen auch bei stärkeren Schwankungen innerhalb kürzerer Wetterperioden.

Würde man die Dehnungsmessungen immer zu gleichen Tageszeiten vornehmen, so müßten entsprechend der Jahres-Temperaturkurve in den Wintermonaten stets größere Meßstrecken als in den Sommermonaten abzulesen sein, da der  $\alpha_t$ -Wert des Meßstabes größer ist als der des Überbaubetons. Dies konnte bei den hier durchgeführten Langzeitmessungen trotz ungleicher Ablesezeiten schon deutlich beobachtet werden.

Bei Langzeitmessungen über viele Jahre würde es daher genügen, die jahreszeitlichen Meßstreckenschwankungen auszugleichen, um anhand der mittleren Meßstreckenkurve eine Aussage über die Kriech- und Schwindverformungen machen zu können.

Da das vorliegende Bauwerk jedoch erst seit wenigen Jahren mit ziemlich unterschiedlichen Jahres-Temperaturkurven beobachtet wird, soll bei der Auswertung dieser Messungen aufgrund der gemessenen Lufttemperaturen die Materialtemperatur abgeschätzt, diese mit der Temperatur der Bezugsmessung verglichen und der Dehnungsanteil infolge  $\Delta T$  bei jeder Einzelmessung eliminiert werden.

In diesem Zusammenhang interessierte deshalb ferner, wie sich die täglichen Lufttemperaturschwankungen auf die Materialtemperatur und die Dehnungen des Bauwerks auswirken und wie groß die täglichen Ablesungsunterschiede der Meßstrecken ungünstigstenfalls sein können.

Hierzu wurden zwei und vier Jahre nach dem Betonieren je eine Ganztagsmeßreihe protokolliert, bei der im Laufe eines Tages in Abständen von je ca. 1 1/2 Stunden jeweils an allen Meßstellen Ablesungen vorgenommen wurden. Insbesondere die zweite dieser Ganztagsmessungen zeigte - begünstigt durch einen Temperaturunterschied von fast  $18^{\circ}$  zwischen Tag und Nacht - deutliche Schwankungen in den Längen der Meßstrecken und gestattet eine plausible Deutung der Dehnungsvorgänge infolge der täglichen Temperaturschwankungen.

Zu Beginn der Ganztagsmeßreihe wurde in jeden Meßkasten ein Quecksilber-Stabthermometer eingelegt, das mit seiner Spitze den Stahl-Meßstab berührte. Nach jeder Ablesung der Temperatur und der Meßstrecke wurde der Deckel des Meßkastens wieder geschlossen, so daß die Thermometer in den Meßkästen weitgehend vom Einfluß der umgebenden Lufttemperatur geschützt waren. Die in den Meßkästen gemessene Temperatur kann somit näherungsweise als die jeweilige Temperatur der Meßstäbe angesehen werden. Auch dürfte die mittlere Temperatur des gesamten Überbaus nicht wesentlich, d. h. schätzungsweise  $\sim 1^{\circ}\text{C}$ , von der mittleren Meßkastentemperatur abweichen. Diese lag bei der vorliegenden Meßreihe etwas (ca.  $2^{\circ}\text{C}$ ) höher als die mittlere Schattentemperatur der Luft, was - abgesehen von der Tendenz der jahreszeitlichen Temperaturkurve - darauf zurückzuführen ist, daß durch die Sonnenbestrahlung der Fahrbahnfläche der Brücke weitere Energie zugeführt wurde (dies zeigt die bei jeder Ablesung

mitgemessene Lufttemperatur auf der Brückenoberseite). Die Meßergebnisse sind im Diagramm Anlage 8 dargestellt. Hieraus läßt sich folgendes entnehmen:

Das Maximum der im Laufe eines Tages gemessenen Meßstrecken in Längsrichtung der Brücke tritt etwa 2 - 3 Std. später auf als die maximale Lufttemperatur und etwa gleichzeitig mit der maximalen Meßkastentemperatur. Daraus ergibt sich, daß bei dieser Brücke die mittlere Betontemperatur mit einer Phasenverschiebung von ca. 2,5 Stunden dem Lufttemperaturverlauf folgt, allerdings mit einer wesentlich kleineren Amplitude. Die Größe der Amplitudenabminderung ist material- und querschnittsabhängig und kann bei diesem Bauwerk etwa mit

$$\frac{(T_{\max} - T_{\min})_{\text{Beton}}}{(T_{\max} - T_{\min})_{\text{Luft}}} \approx 0,5$$

angegeben werden. Dies kann anhand der gemessenen Meßstreckenänderungen in Brückenlängsrichtung im Laufe des Meßtages ziemlich gut überprüft werden:

Unterstellt man einmal die Richtigkeit der o. a. Phasenverschiebung von 2,5 Std. und der Amplitudenabminderung von 0,5, d. h. setzt man die Betontemperaturkurve als bekannt voraus, und nimmt man ferner aufgrund der oben beschriebenen Meßmethode an, daß die Temperatur der Stahl-Meßstäbe mit der jeweiligen Meßkastentemperatur übereinstimmt, so läßt sich, ausgehend von einem beliebigen Zeitpunkt, der theoretische Verlauf der täglichen Meßstreckenveränderungen rechnerisch ermitteln.

Mit den Bezeichnungen der Wärmeausdehnungskoeffizienten nach Abschnitt 2.4.1 sowie

$s$  = Meßstrecke an den Längsmeßstäben,

$l$  = Meßstablänge ( $\approx$  Brückenlänge),

$t$  = Zeitpunkt der jeweiligen Messung,

$t_0$  = Zeitpunkt der Bezugsmessung,

$T_{\text{Meßkasten}}(t)$  = zur Zeit  $t$  gemessene Meßkastentemperatur und

$T_m \text{ Meßkasten}(t)$  = mittlere, linear ausgeglichene Meßkastentemperatur z. Zt.  $t$  (s. auch Anlage 8)

lassen sich die genannten Annahmen wie folgt formulieren:

$$T_{\text{Stahlstab}}(t) = T_{\text{Meßkasten}}(t) \quad \text{und}$$

$$T_{\text{Beton}}(t) = 0,5 \cdot (T_{\text{Luft}}(t-2,5^h) + T_m \text{ Meßkasten}(t-2,5^h)).$$

Die rechnerische Meßstreckenveränderung ergibt sich dann zu

$$\Delta S = S(t) - S(t_0) = l \cdot \left[ \alpha_{t \text{ LB}}^* \cdot (T_{\text{Beton}}(t) - T_{\text{Beton}}(t_0)) - \alpha_{t \text{ St}} \cdot (T_{\text{Stahl}}(t) - T_{\text{Stahl}}(t_0)) \right]$$

und mit den Bezugswerten zur Zeit  $t_0 = 12.30$  Uhr

$$T_{\text{Stahl}}(t_0) = T_{\text{Meßkasten}}(t_0) = 20,8 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{und}$$

$$\begin{aligned} T_{\text{Beton}}(t_0) &= 0,5 \cdot (T_{\text{Luft}}(t_0-2,5^h) + T_m \text{ Meßkasten}(t_0-2,5^h)) \\ &= 0,5 \cdot (20,0 + 20,0) = 20,0 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

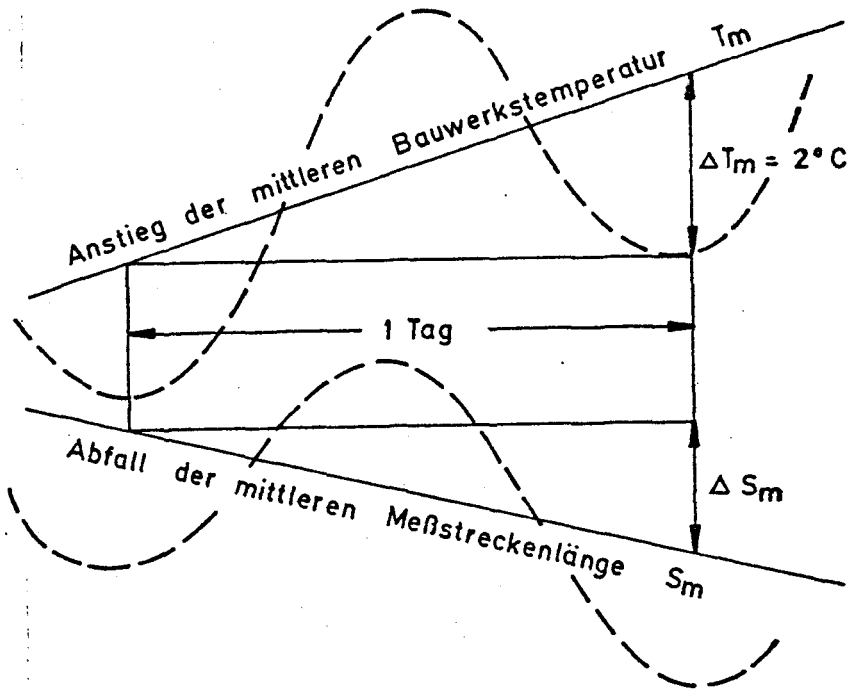
sowie  $l \cong 39$  m erhält man:

$$\Delta S = 39 \cdot 10^{-5} \left[ 0,80 \cdot (T_{\text{Beton}}(t) - 20) - 1,2 (T_{\text{Stahl}}(t) - 20,8) \right] \quad [\text{m}], \text{ bzw.}$$

$$\Delta \varepsilon = \left[ 0,80 \left( \frac{T_{\text{Luft}}(t-2,5^h) + T_m \text{ Meßkasten}(t-2,5^h)}{2} - 20 \right) - 1,2 (T_{\text{Meßkasten}}(t) - 20,8) \right] \cdot 10^{-5}$$

Setzt man in diese Gleichung die gemessenen Luft- und Meßkastentemperaturen ein, so erhält man die in Anlage 8 gestrichelt eingezeichnete Kurve der theoretischen Meßstreckenveränderung, die mit der durch Messung ermittelten Größenordnungsmäßig gut übereinstimmt. Die geringen Abweichungen in der Amplitude rühren vermutlich von dem nur grob abgeschätzten Einfluß der Lufttemperatur auf den Betonquerschnitt her (0,5), d. h. die wirklichen Schwankungen der Betontemperatur sind wahrscheinlich etwas kleiner. Die Abweichung kann aber auch durch Reibung der Meßstäbe in ihren Hüllrohren verursacht sein.

Zur besseren Veranschaulichung der Zusammenhänge wurde der aufgrund der Wetterlage wahrscheinliche Temperaturverlauf vor und nach dem eigentlichen Meßzeitraum (Annahme eines linearen, mittleren Temperaturanstiegs von  $2^{\circ}\text{C}/\text{Tag}$ ) sowie die zugehörigen wahrscheinlichen Meßstreckenveränderungen ebenfalls in die Darstellung der Anlage 8 eingetragen.



Die durch einen linearen Anstieg der mittleren Bauwerkstemperatur um  $2^{\circ}\text{C}$  pro Tag hervorgerufene Abminderung der mittleren Meßstreckenlänge ergibt sich aufgrund der unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten  $\alpha_{t \text{ Stahl}}$  und  $\alpha_{t \text{ LB}}$  zu

$$\Delta \varepsilon_m = \Delta T \cdot (\alpha_{t \text{ LB}}^* - \alpha_{t \text{ Stahl}}) \cdot 10^{-5} = 2 (0,8 - 1,2) \cdot 10^{-5} = -0,8 \cdot 10^{-5} / \text{Tag}$$

bzw.

$$\Delta s_m = 2 \cdot (0,8 - 1,2) \cdot 39 \cdot 10^{-5} = -0,31 \text{ mm/Tag.}$$

Bei den Messungen an den Vertikalstäben sind infolge der anderen Lage der Meßstäbe im Querschnitt andere Verhältnisse zu erwarten. Auch hier gilt die o.a. Gleichung, nach der bei zunehmenden, mittleren Bauwerkstemperaturen die mittlere Meßstreckenlänge abnimmt, darüber hinaus ist diese Gleichung jedoch auch für die kurzfristigen Temperaturunterschiede im Laufe eines Tages mit einer geringen Phasenverschiebung gültig, wenn angenommen wird, daß die Amplitude der Meßstabtemperatur mindestens ebenso groß ist wie die des Betons. Diese Annahme ist deshalb berechtigt, weil im vorliegenden Fall die Verankerungsplatte

des Meßstabes nur 10 cm unter der Fahrbahnoberkante liegt und damit bei Sonnenbestrahlung stets etwa in gleichem Maße wie der Beton der Fahrbahnplatte, d. h. ungefähr so stark wie der gesamte Betonquerschnitt erwärmt wird.

Bei einer maximalen Schwankung der mittleren Betontemperatur von ca.  $10^{\circ}\text{C}/\text{Tag}$  ergibt sich demnach bei einer Meßstablänge von ca. 0,9 m (einschließlich der ~ 10 cm langen Meßstrecke s) eine rechnerische Meßstreckenamplitude von

$$\begin{aligned}s_{\max} - s_{\min} &= 10 \cdot (0,8 - 1,2) \cdot 10^{-5} = 3,6 \cdot 10^{-5} \text{ m} \\ &= 0,036 \text{ mm} \hat{=} 0,04 \text{ }^{\circ}\text{‰}\end{aligned}$$

Dies stimmt mit den Meßwerten fast genau überein (s. Diagramm Anlage 8 ).

Aufgrund der in dieser Untersuchung gefundenen Zusammenhänge ist es nunmehr möglich, die infolge unterschiedlicher Temperatur auftretenden Meßstreckenveränderungen bei der Auswertung der Langzeitmessungen näherungsweise abzuschätzen und bei der Ermittlung der reinen Kriech- und Schwinddehnungen zu eliminieren. Zumindest dürfte mit Hilfe der gemessenen Lufttemperatur, auch ohne Kenntnis der gesamten Temperaturkurve des Meßtages, das Vorzeichen und die Größenordnung der temperaturbedingten Anteils des Meßstreckenveränderung angebbar sein.

## 2.5 Einfluß der Luftfeuchtigkeit

Neben den Temperaturmessungen wurde bei fast allen Ablesungen auch die relative Luftfeuchte festgestellt. Mit Sicherheit wird auch der Wechsel der Feuchte die Dehnungen etwas beeinflusst haben. Da jedoch im vorliegenden Fall im Betonalter von 2 Monaten ein Kunststoffanstrich (Indurin) aufgebracht wurde und außerdem während der vierjährigen Beobachtungszeit keine jahreszeitlich bedingten Perioden mit charakteristischer hoher bzw. niedriger Luftfeuchte festgestellt wurden, wird im Gegensatz zu früheren Vermutungen (vergl. Lit. [5], [7]) angenommen, daß die regelmäßig wiederkehrenden Dehnungsschwankungen (Verkürzung in den Sommermonaten und Verlängerung der Meßstrecken in der kalten Jahreszeit, s. Anlage 10 ) ihre dominierende Ursache in den Temperaturschwankungen haben und die Feuchtigkeitsänderungen nur einen



untergeordneten Einfluß ausüben. Die Tatsache, daß bei sorgfältiger Schätzung der Materialtemperaturen und Elimination der zugehörigen Dehnungsanteile ein plausibler Verlauf der zeitabhängigen Verformungen errechnet werden konnte, kann als Bestätigung dieser Theorie angesehen werden. Ein Einfluß der Luftfeuchtigkeit wurde daher bei der Auswertung der Langzeitmessungen nicht berücksichtigt.

### 3. Auswertung der Langzeitmessungen

#### 3.1 Längenänderungen

Die Zusammenstellung und tabellarische Auswertung der Meßwerte zeigen die Tabellen 1 - 4 der Anlage 9 .

In den Spalten 3 - 5 dieser Tabellen sind die bei der Messung vorhandene Lufttemperatur unter der Brücke sowie die wahrscheinlichen Materialtemperaturen eingetragen. Hierzu ist zu bemerken, daß bei den Messungen des ersten Jahres nur die Lufttemperatur, in der Folgezeit jedoch auch die Temperaturen in den Meßkästen festgestellt wurden. Etwas unsicher sind lediglich die Schätzwerte der ersten Tage nach dem Betonieren, da dort die langsam abklingende Abbindewärme ebenfalls eine Rolle spielt. Für die Beurteilung der Kriech- und Schwindverformungen sind jedoch die Temperaturen bei der Nullmessung nicht entscheidend, da zur Zeit des Kriechbeginns (nach voller Vorspannung) der schwer schätzbare Einfluß der Abbindewärme keine Bedeutung mehr gehabt haben dürfte.

Von dem Mittelwert der scheinbaren (d. h. einschließlich des temperaturbedingten Anteils), gemessenen Dehnungen in Längsrichtung (Spalte 15) wird in den Spalten 16 - 18 der Temperatureinfluß abgezogen. Die wahre Gesamtdehnung einschließlich elastischer Verkürzung, Kriech- und Schwindanteile ist in Spalte 19 eingetragen.

Die entsprechende Berechnung wird in den Spalten 20 - 29 für die Schwindmessungen an den Vertikalstäben durchgeführt.

In den Spalten 30 bis 32 sind dann die elastischen, die Schwind- und die Kriechanteile gesondert eingetragen.

Über die gemessenen elastischen Verformungen bei den beiden Vorspannstufen läßt sich auch die Größe und die Änderung des E-Moduls des Brückenüberbaus ermitteln.

Vergleicht man die Zeilen 4 und 5 der Tabelle 1 (Anlage 9), so erhält man infolge der 1. Teilvorspannung von  $\sigma_{v1} \approx 15 \text{ kp/cm}^2$  einen Dehnungszuwachs von

$$\varepsilon_1 = 0,052 - (-0,016) = 0,068 \text{ } ^\circ/\text{oo}.$$

Daraus errechnet sich der E-Modul des bewehrten Überbaus (beim Betonalter von 7 Tagen) zu:

$$E_7 = \frac{15}{0,068 \cdot 10^{-3}} = \underline{\underline{220000 \text{ kp/cm}^2}}$$

Der Vergleich der Zeilen 15 und 17 (2. Vorspannstufe  $\sigma_{v1} \approx 16 \text{ kp/cm}^2$ ) liefert für den 14 Tage alten Beton einen E-Modul von

$$E_{14} = \frac{16}{(0,106 - 0,043) \cdot 10^{-3}} = \frac{16}{0,063 \cdot 10^{-3}} = \underline{\underline{254000 \text{ kp/cm}^2}}$$

Zur Berechnung des E-Moduls  $E_7$  ist zu bemerken, daß die Stauchung noch durch das Lehrgerüst etwas behindert war. Vergleicht man die Zeile 4 mit der Zeile 6 (nach Absenkung des Lehrgerüstes einen Tag später), so ergibt sich eine Gesamtstauchung von

$$\max \varepsilon_1 = 0,059 - (-0,016) = 0,075 \text{ } ^\circ/\text{oo} \text{ bzw.}$$

ein E-Modul von

$$\min E_8 = 200000 \text{ kp/cm}^2.$$

In diesem Wert sind jedoch mit Sicherheit auch nichtelastische Verformungsanteile enthalten, so daß der wahre E-Modul nach 7 bzw. 8 Tagen etwa zu  $E \approx 210000 \text{ kp/cm}^2$  angenommen werden kann.

Angesichts des für den unbewehrten Laborbeton gemessenen E-Moduls von rd. 180000 kp/cm<sup>2</sup> nach 7 Tagen liegen diese Werte recht hoch, was aber aufgrund der rd. 25 %-igen Mehrfestigkeit des Brückenbetons (vergl. Abschnitt 1, Tafel 2) auch zu erwarten war.

Der ermittelte Dehnungsverlauf  $\varepsilon = f(t)$  ist im Diagramm Anlage 10 aufgetragen. Dabei stellen die strichlierten Kurvenzüge die gemessenen Meßstreckenveränderungen einschließlich der temperaturbedingten Dehnungsanteile dar, während die ausgezogenen Kurvenzüge die temperaturunabhängigen Längenänderungen darstellen.

Zieht man von der (oberen) Kurve der Gesamtverformungen die elastische Anfangsverformung und die (untere) reine "Schwindkurve" ab, so erhält man die in Anlage 11 dargestellte reine Kriechkurve, die jedoch aus folgendem Grunde nicht unbedingt als gesicherte Aussage angesehen werden kann:

Bei der Ermittlung der reinen Schwindverformungen ist nämlich zu berücksichtigen, daß die Endquerträger, in deren Mitte die Schwindmeßstäbe in vertikaler Richtung eingebaut wurden, ebenfalls vorgespannt wurden. Die gemessene Vergrößerung der Meßstrecke kann deshalb auch zu einem nicht genau abzuschätzenden Teil durch ein "Querkriechen" verursacht sein. Leider wurden Querverformungen bei den Laboruntersuchungen des Leichtbetons nicht gemessen. Nach früheren Meßergebnissen an Schwerbeton mit verschiedenen Zuschlägen (vergl. Lit. [4]) liegen — bei Querdehnungszahlen  $u$  von  $\sim 0,15 - 0,35$  — die bezogenen Querkriechverformungen etwa zwischen 2 und 7  $\cdot \left[ \frac{10^{-6}}{\text{kp/cm}^2} \right] \cdot \left[ \frac{1}{\text{kp/cm}^2} \right]$ . Nimmt man einmal probeweise ein Querkriechmaß von  $\varepsilon_{qK} = 6,75 \cdot 10^{-6} \left[ \frac{1}{\text{kp/cm}^2} \right]$  (entsprechend Grünsandstein) an, so findet man eine Querkriechausdehnung bei der vorhandenen Vorspannung von ca. 20 kp/cm<sup>2</sup> von der Größenordnung

$$\varepsilon_{qK} = 6,75 \cdot 20 \cdot 10^{-6} = 0,135 \text{ ‰}.$$

Das an den Schwindmeßstäben gemessene Quellmaß von  $\sim 0,15 \text{ ‰}$  könnte also auch ausschließlich durch das Querkriechen des vorgespannten Endquerträgers entstanden sein, wenn das o. a. Querkriechmaß auch für Leichtbeton in etwa zutrifft. Theoretisch könnte das Querkriechmaß sogar größer als die gemessene Meßstreckenausdehnung gewesen sein, wenn gleichzeitig ein echtes Schwinden vorhanden war. Jedoch ist dies nicht sehr wahrscheinlich, da sich in diesem

Falle angesichts der nur geringen Quervorspannung von ca.  $10 \text{ kp/cm}^2$  im Überbau mit Sicherheit eine beachtliche Kriechverkürzung in Längsrichtung gezeigt hätte. Nachträgliche Querkriech-Versuche an Leichtbeton gleicher Zusammensetzung könnten zu dieser Frage evtl. genauere Aussagen ermöglichen.

Abschließend kann folgendes festgestellt werden:

1. Das Quellmaß des Leichtbetons einschließlich Querkriechen infolge  $20 \text{ kp/cm}^2$  Druckspannung im Endquerträger lag bei

$$\varepsilon_s + \varepsilon_K \approx 0,15 \text{ ‰}$$

2. Die gemessene, zeitabhängige Gesamtverformung nach Aufbringen der Längsvorspannung ist gleich Null. Quellverformungen wurden durch das Kriechen kompensiert. Das reine Endkriechmaß liegt vermutlich in der Größenordnung von  $\varepsilon_K \approx 0,10 \div 0,15 \text{ ‰}$ , was bei  $\varepsilon_{el} \approx 0,138 \text{ ‰}$  einer Kriechzahl von  $\int_{\infty} \approx 1,0$  entspricht. Die bezogene Kriechverformung  $\bar{\varepsilon}_K$  ist (bei  $\sigma \approx 30 \text{ kp/cm}^2$ ) mit  $\bar{\varepsilon}_{K_{\infty}} = \frac{-0,12 \cdot 10^{-3}}{30} = -4 \cdot \frac{10^{-6}}{\text{kp/cm}^2}$  etwa nur halb so groß wie die bei  $\sigma = 110,5 \text{ kp/cm}^2$  im Labor festgestellte (vgl. Anlage 2:  $\bar{\varepsilon}_{K_{\infty}} = -7,7 \cdot \frac{10^{-6}}{\text{kp/cm}^2}$ ).

Die Schwierigkeiten bei der Auswertung der Meßergebnisse, insbesondere der Elimination des Temperatureinflusses und der einwandfreien Trennung der einzelnen Verformungsanteile verdeutlichen die Notwendigkeit, bei zukünftigen Bauwerks-Messungen die zweckmäßige Lage und die Art der Meßvorrichtungen besonders sorgfältig zu planen und geeignete Meßgeräte zur Ermittlung der Temperatur- und Feuchtigkeitskurven vorzusehen. Bei eingebauten Meßstäben sollte wegen der Gefahr der Reibungszunahme durch Rost die Beweglichkeit der Meßstäbe im Hüllrohr kontrollierbar sein. Auch sollte bei kurzen Meßstäben die Wandstärke des Hüllrohres nicht zu groß gewählt werden, um eine Verfälschung der Formänderungsmessungen infolge der größeren Dehnsteifigkeit im unmittelbaren Meßbereich zu vermeiden.

Ferner sollte man der erforderlichen Zahl, Form und Größe sowie der bauwerksgetreuen Herstellung der Nebenversuchskörper zur Bestimmung der Materialeigenschaften (Festigkeiten, Kriechmaß, Schwindmaß, Wärmeausdehnung, Wasseraufnahmefähigkeit, Querkriechmaß, u.a.) größere Beachtung schenken und nach

Möglichkeit dazu übergehen, einen Teil der Nebenversuchskörper in Bauwerksnähe unter den gleichen klimatischen Bedingungen zu lagern (vergl. auch Lit. [6]).

Ein nachträgliches Anstreichen des Überbaus (wie hier nach 2 Monaten aus optischen Gründen geschehen) kann die Übertragbarkeit der Meßergebnisse auf andere, i. d. R. nicht gestrichene Brückenbauwerke in Frage stellen. Wenn auch Vorzeichen und Tendenz der zeitabhängigen Verformungen durch den Anstrich nicht verändert werden dürften, so ist doch eine Verminderung der Kriech- und Schwindmaße infolge der Behinderung der Wasserabgabe je nach Zeitpunkt und Art des Anstrichs mehr oder weniger wahrscheinlich (vergl. Lit. [8]).

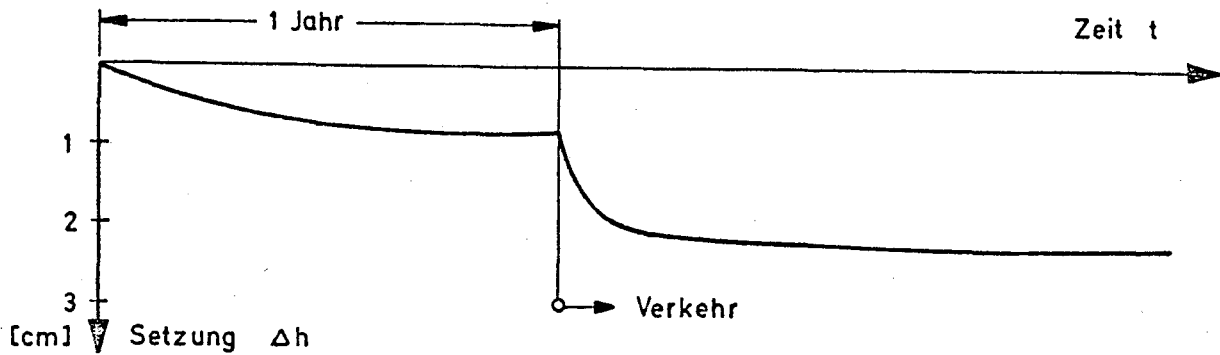
### 3.2 Durchbiegungs- und Setzungsmessungen

Außer den Dehnungsmessungen wurden auch die vertikalen Bauwerksverschiebungen kontrolliert. Die vom Straßenbauamt Bad Gandersheim zusammengestellten Nivellements und die graphische Darstellung der Verschiebungen der einzelnen Meßpunkte sind im Anhang B beigelegt.

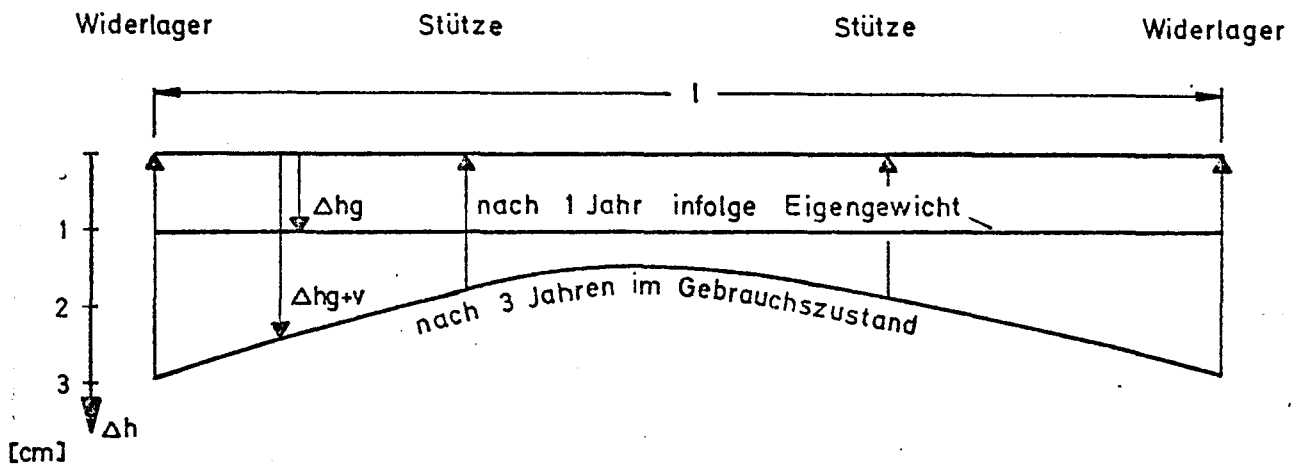
Die Höhennivellements lassen folgendes erkennen:

1. Unter dem Einfluß des Überbaugewichtes haben sich die Unterbauten zunächst nahezu gleichmäßig um ca. 1 cm gesetzt (s. Anlage 12 ).
2. Durchsenkungen der Überbaufelder relativ zu den Auflagerpunkten infolge ständiger Last konnten nicht festgestellt werden.
3. Im Laufe der Zeit hat sich lediglich das Mittelfeld des Überbaus gegenüber seiner Anfangslage geringfügig nach oben gewölbt (ca. 0,5 cm), da sich die Fundamente der Widerlager unter der Einwirkung des Verkehrs stärker (ca. 2 - 3 cm) gesetzt haben als die der Mittelstützen (ca. 1 - 2 cm). Die größeren Setzungen der Widerlager konnten an den Meßbolzen auf den Fundamenten nicht festgestellt werden, was jedoch wahrscheinlich auf eine leichte Verkantung der Widerlager zurückzuführen ist (nur die Vorderkanten der Widerlager waren mit Meßbolzen ausgestattet).

Die charakteristische Zunahme der Setzungen der einzelnen Meßpunkte ist folgende (vergl. Diagramme, Anhang B):



Die Höhenänderungen der Meßbolzen auf der Fahrbahnplatte nahmen auf der gesamten Brückenlänge etwa in folgender Weise zu (vergl. Anlage 12 und 13):



Die Brücke lag entsprechend der Linienführung im Längsschnitt in einer flachen "Wanne" mit einem Halbmesser von  $H = 12000$  m und einem Sehnstichmaß von  $f \approx 2$  cm. Nach der ungleichmäßigen Setzung der Unterbauten und der relativen Aufwölbung des Überbaus um ca. 1,5 cm liegt demnach noch immer keine wirkliche Aufwölbung vor, sondern die Wanne wurde lediglich etwas gestreckt. Ein Einfluß der Höhenänderungen auf die Dehnungen in Längsrichtung kann bei der vorhandenen Größenordnung der Meßwerte nicht nachgewiesen werden.

Die Vertikalbewegungen (Setzungen) kamen nach 4 Jahren Beobachtungszeit nahezu zum Stillstand.

#### 4. Zusammenfassung

Im Jahre 1967 wurde bei Gittelde/Harz die erste deutsche Leichtspannbeton-Straßenbrücke in LB 450 erbaut. Das Langzeit-Verformungsverhalten dieser Brücke wurde 4 Jahre hindurch beobachtet.

Die Auswertung der Verformungsmessungen in Brückenlängsrichtung zeigt, daß nach einer dem Leichtbeton-Elastizitätsmodul entsprechenden Anfangs-Verkürzung beim Vorspannen in der Folgezeit keine weiteren Längenänderungen, infolge Kriechen und Schwinden zusammengekommen, auftraten. Jahreszeitliche Schwankungen der Meßstreckenlängen von  $\pm 0,1 \text{ ‰} = \pm 4 \text{ mm}$  konnten auf die unterschiedliche Ausdehnung des Brückenbetons und des Stahlmeßstabes bei Temperaturschwankungen zurückgeführt werden.

Die Messung des reinen Schwindens gelang nicht ganz eindeutig. Zwar zeigten die besonderen Schwindmeßstellen in Vertikalrichtung des Endquerträgers ein Quellen von rd.  $0,15 \text{ ‰}$ , jedoch kann diese unerwartete Dehnung auch zu einem bisher nicht bekannten Teil durch das Querkriechen des vorgespannten Endquerträgers hervorgerufen worden sein. Zur Klärung dieser Frage müßte nachträglich das Querkriechverhalten des Brückenbetons näher untersucht werden.

Da die gesamte zeitabhängige Verformung gleich Null ist, kann gefolgert werden, daß die Quelldehnung durch eine Kriechverkürzung von größenordnungsmäßig  $0,10 - 0,15 \text{ ‰}$  (d. h.  $\varphi_{\infty} \approx 1,0$ ) voll kompensiert wurde.

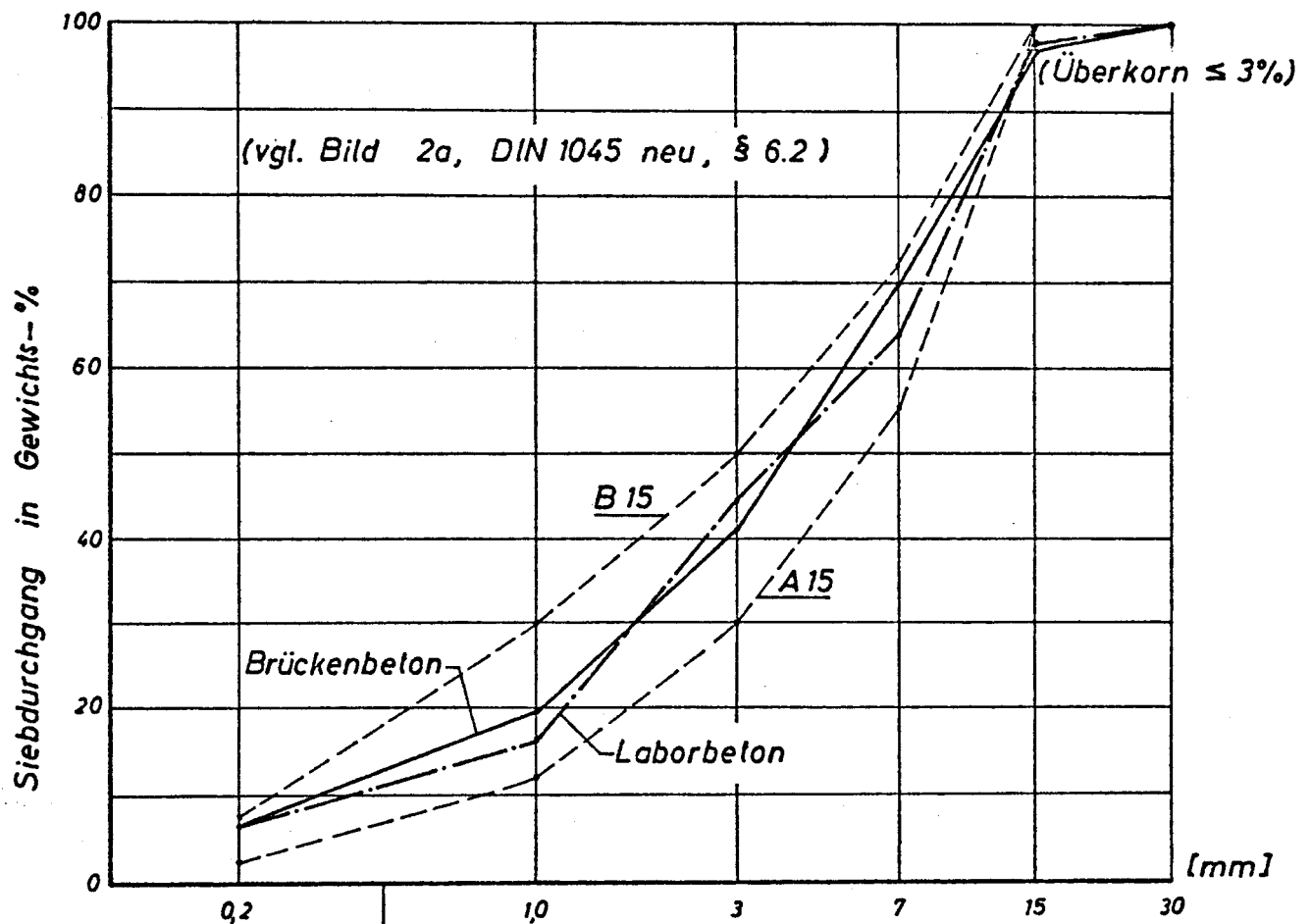
Die Setzungen des Baugrundes sind angesichts des schlechten Baugrundes als gering zu bezeichnen. Durch die etwas größere Nachgiebigkeit der Widerlager im Gegensatz zu den Mittelstützen erhielt der Überbau eine geringe Aufwölbung von ca. 1,5 cm im Mittelfeld. Die Dehnungen in Brücken-Längsrichtung wurden durch die geringfügigen Höhenveränderungen nicht beeinflußt.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die in der Statik berücksichtigten rechnerischen Werte sowohl der Kriech- und Schwindverformungen als auch der Stützensenkungen bei weitem nicht in dem erwarteten Maße aufgetreten sind.

## Sieblinien von Labor- und Brückenbeton

Norlit - Blähschiefer 0-15 mm

Quarzsand 0-0,2 mm



Maschenweite DIN 4188  $\leftarrow \circ \rightarrow$  Lochweite DIN 1170

### F - Werte nach Hummel:

Sieblinie A 15 :  $F = 161$

Laborbeton :  $F = 147$

Brückenbeton :  $F = 143$

Sieblinie B 15 :  $F = 133$



## Laborversuche an Norlit - Leichtbeton

## Verformungen unter Dauerlast

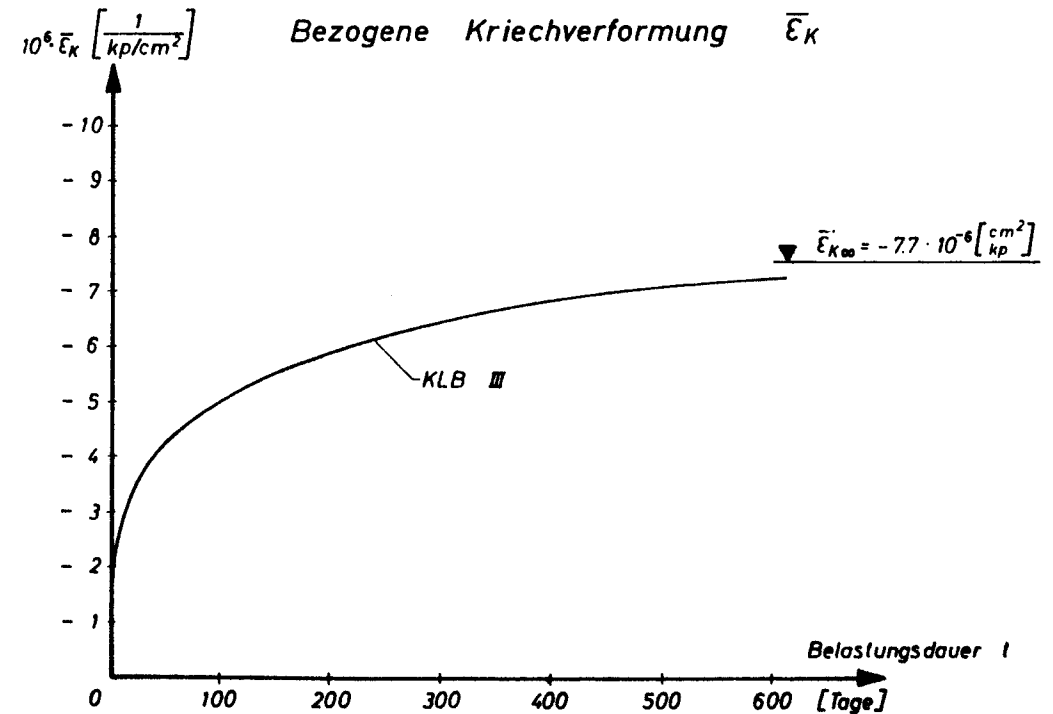
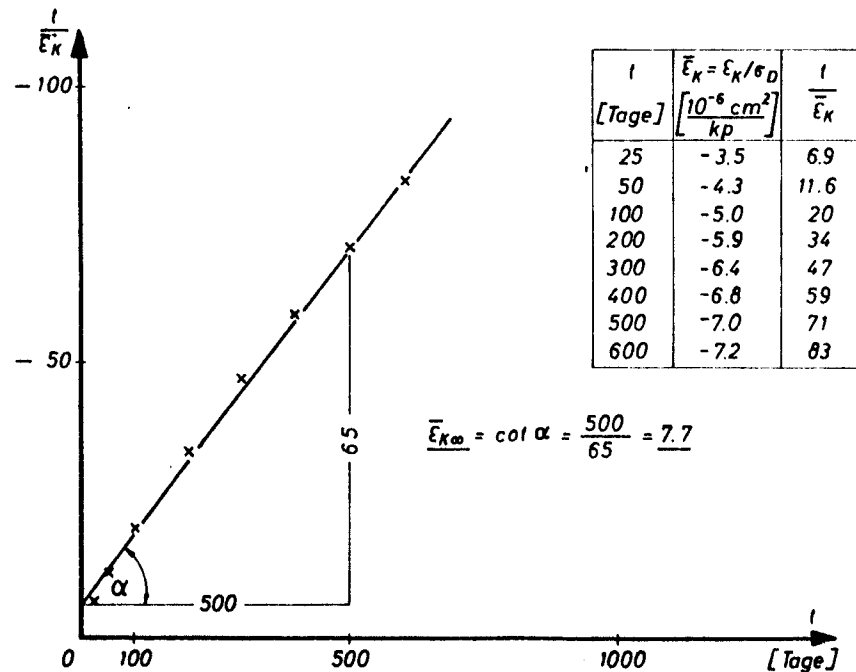
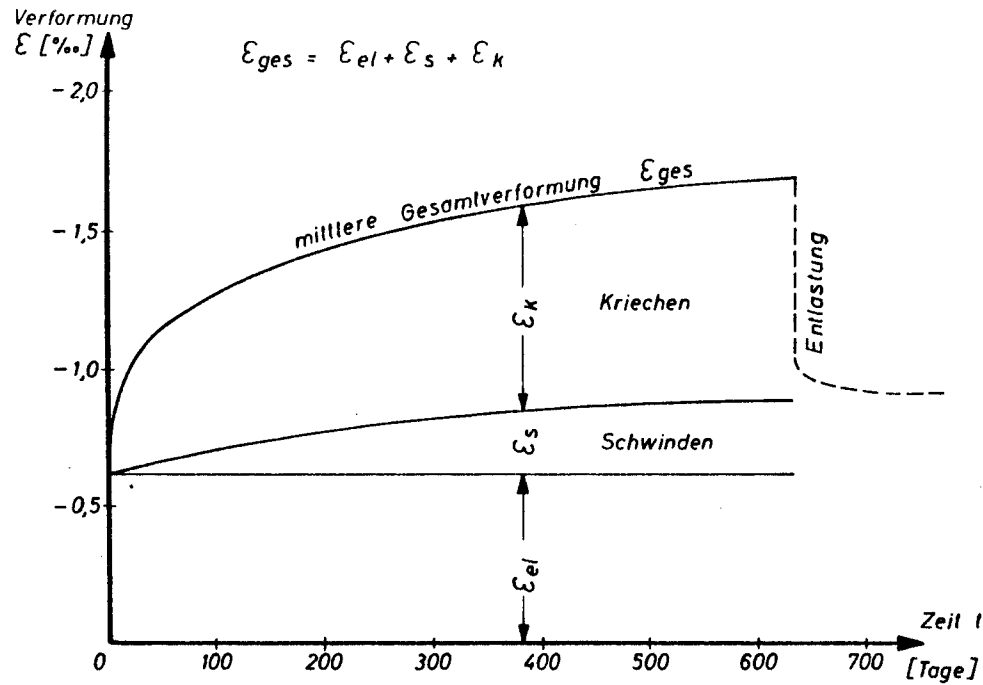
$$\sigma_D = \frac{P_D}{F_b} = \frac{1}{3} \cdot p_w = 110,5 \text{ kp/cm}^2$$

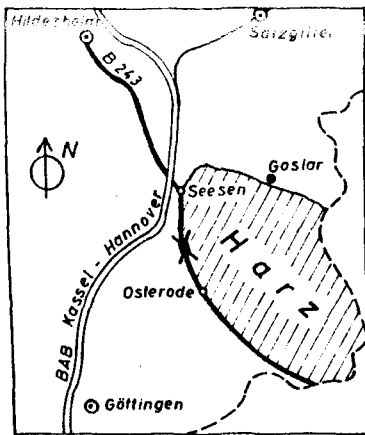
$$E = \text{Modul bei Belastung } E_{e,1} = 178 \text{ Mp/cm}^2$$

$$\varepsilon_{el} = \frac{\sigma_D}{E_{e,1}} = -0,620 \text{ ‰}$$

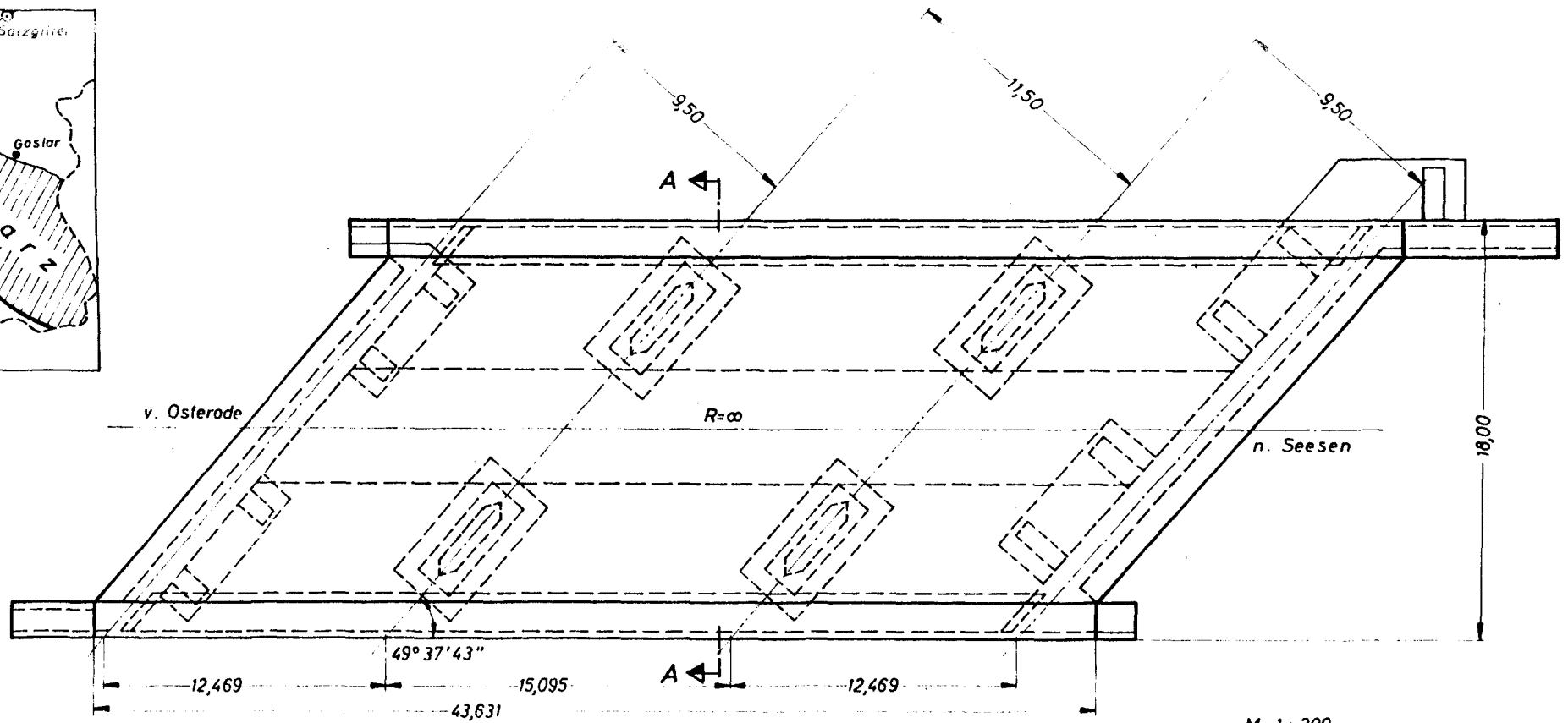
$$\varepsilon_{K\infty} = \bar{\varepsilon}_{K\infty} \cdot \sigma_D = -7,7 \cdot 10^{-6} \cdot 110,5 = -0,85 \text{ ‰}; \quad \varepsilon_{s\infty} = 0,30 \text{ ‰}$$

$$\varphi_{\infty} = \frac{\varepsilon_{K\infty}}{\varepsilon_{el}} = \frac{0,85}{0,620} = 1,37$$



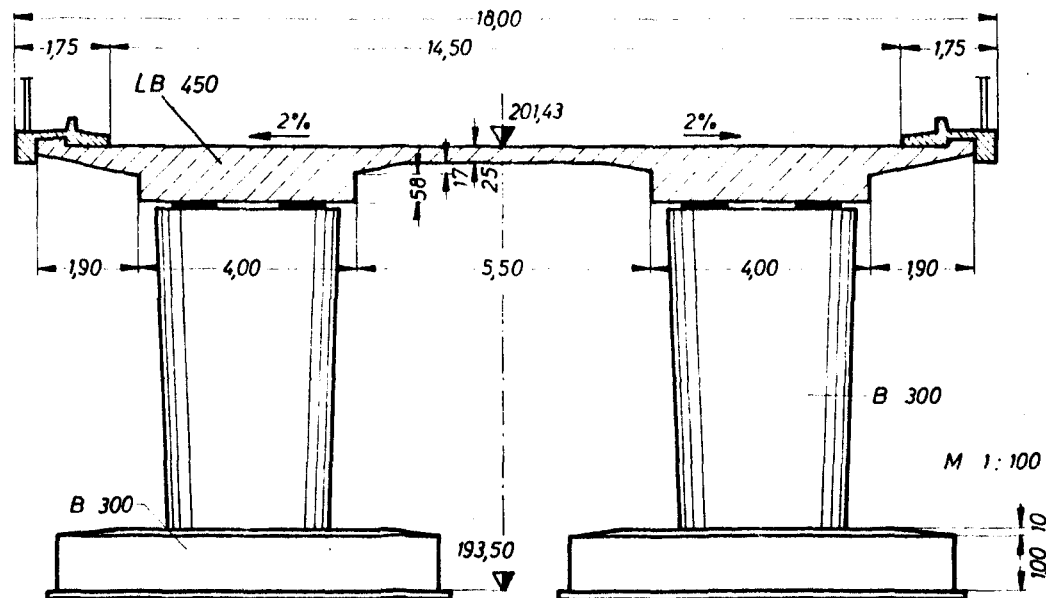


Lageplan



M 1:200

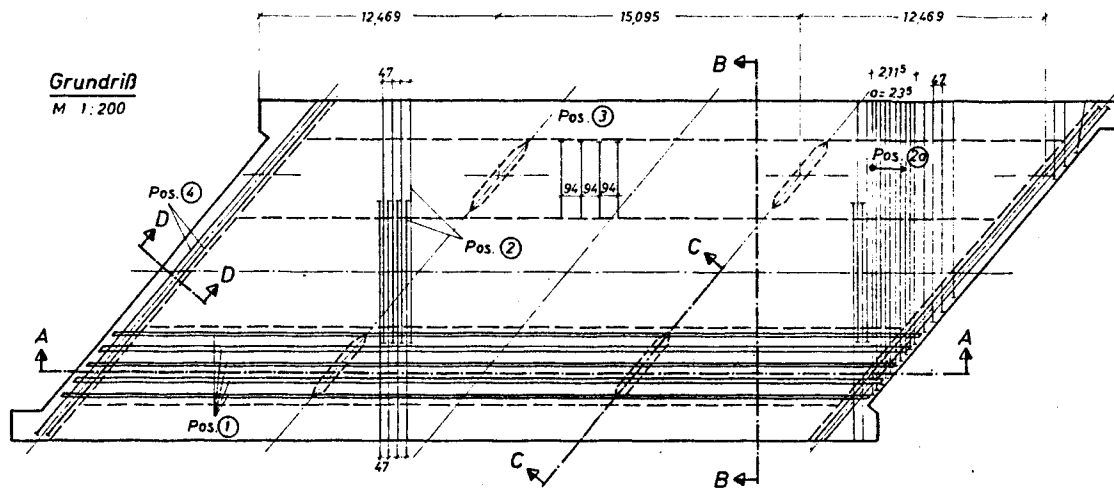
Schnitt A ÷ A



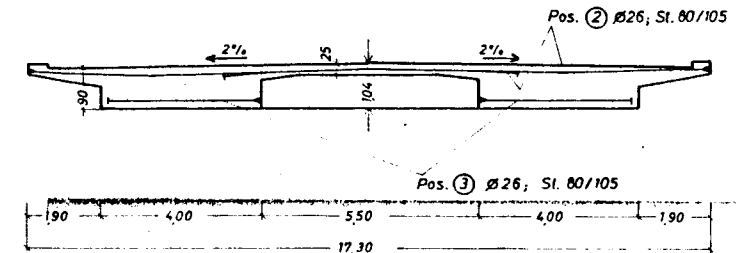
Lage und Abmessungen der  
Leichtspannbetonbrücke

Überführung der B 243 über  
Kreisstraße Nr. 26 bei Gittelde

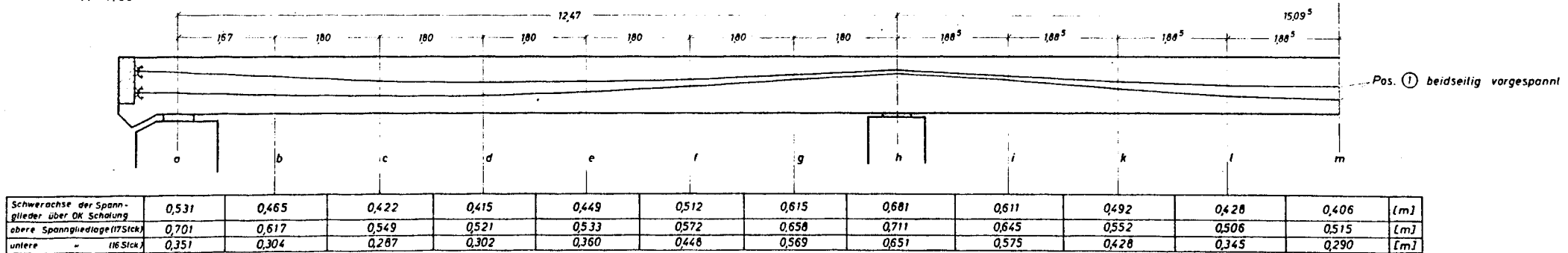
Anlage 3



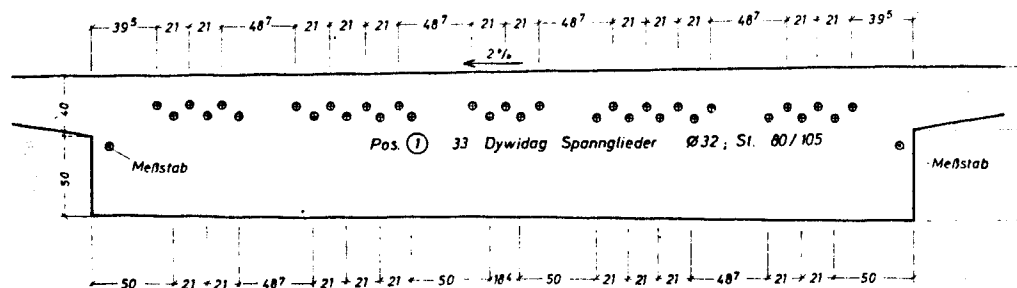
**Schnitt B - B** (Quervorspannung)  
M 1:100



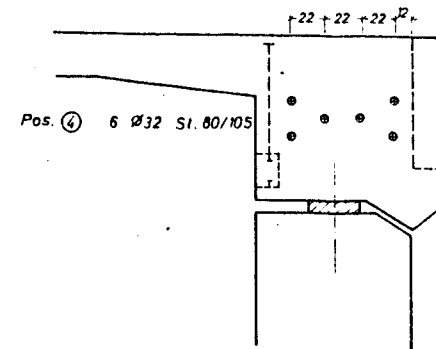
**Schnitt A - A** (Längsvorspannung)  
M 1:50



**Schnitt C - C** (Längsvorspannung)  
M 1:25

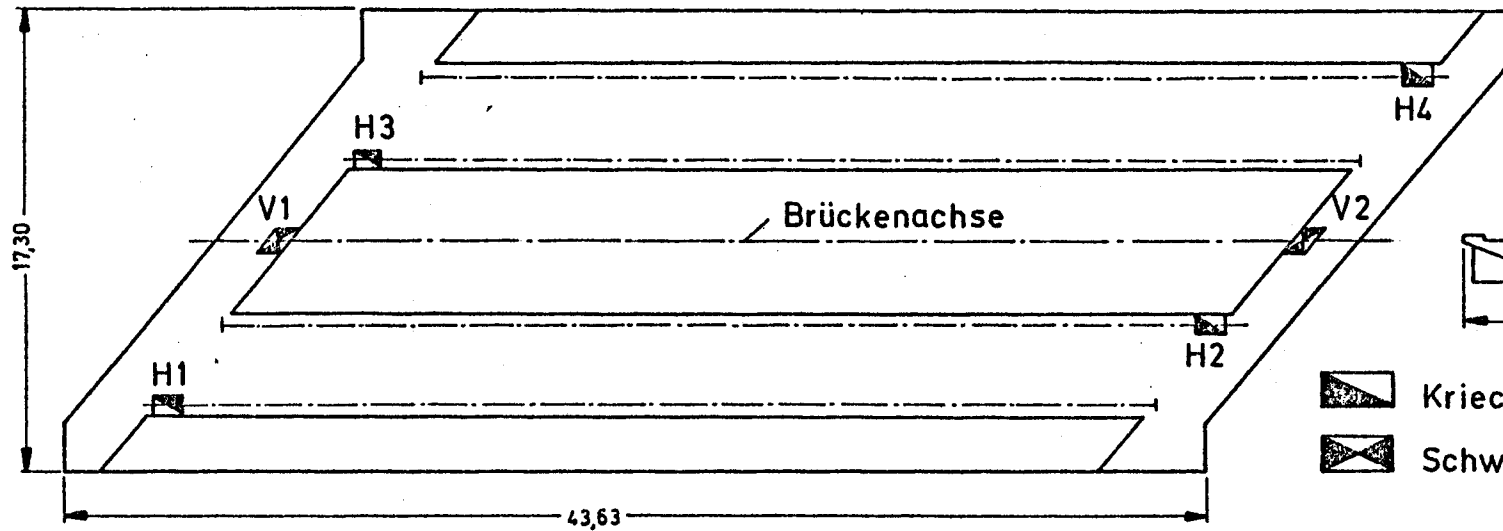


**Schnitt D - D**  
M 1:25

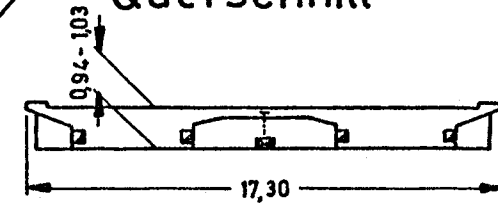




Spanngliedführung im  
Überbau

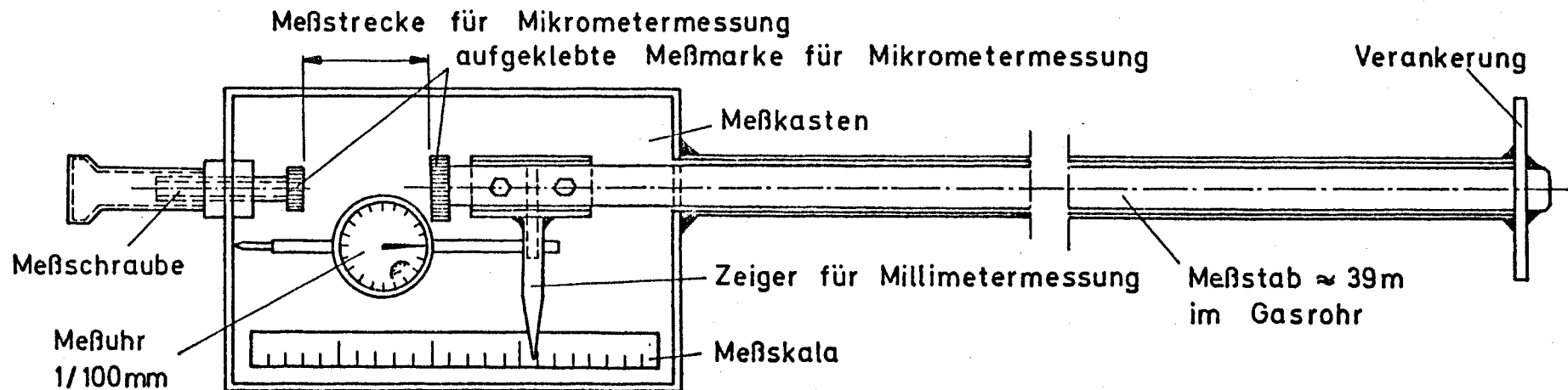
## Untersicht



## Querschnitt

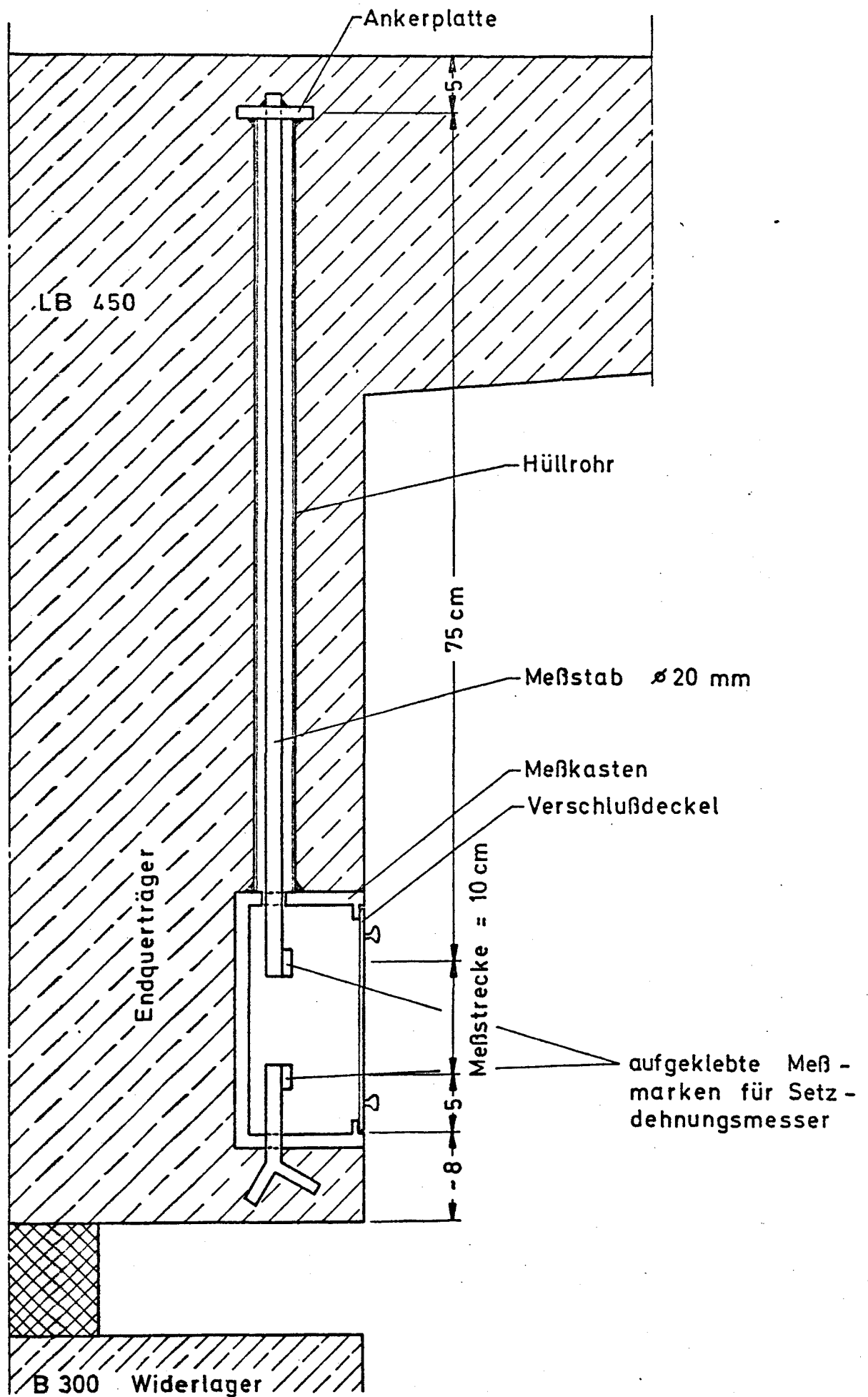


-  Kriech - und Schwindmessungen
-  Schwindmessungen



## Horizontalmeßstab im Längsträger (H1-H4)

# Schwindmeßstab im Endquerträger (V1 und V2)

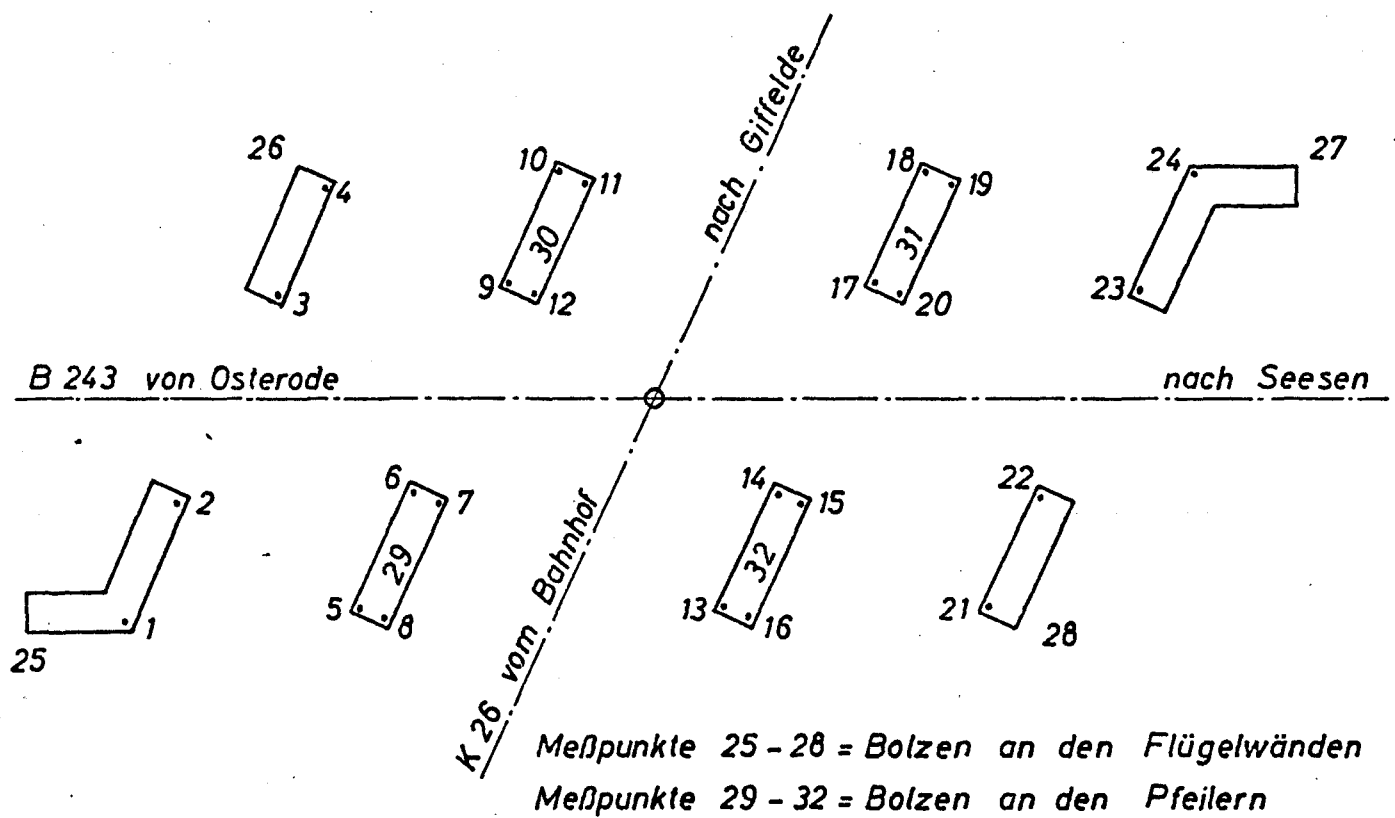


a) Überbau :

Diagram illustrating the bridge superstructure (Überbau) with two spans. The spans are labeled "von Osterode B 243" and "nach Seesen". The bridge is supported by three piers. The left pier is labeled "vom Bahnhof K 26". The right pier is labeled "nach Gittelde". The spans are labeled "MN" and "MS". The piers are labeled "1", "2", "3" and "1'", "2'", "3'".

MS = Meßschraube über Längsträgermitte

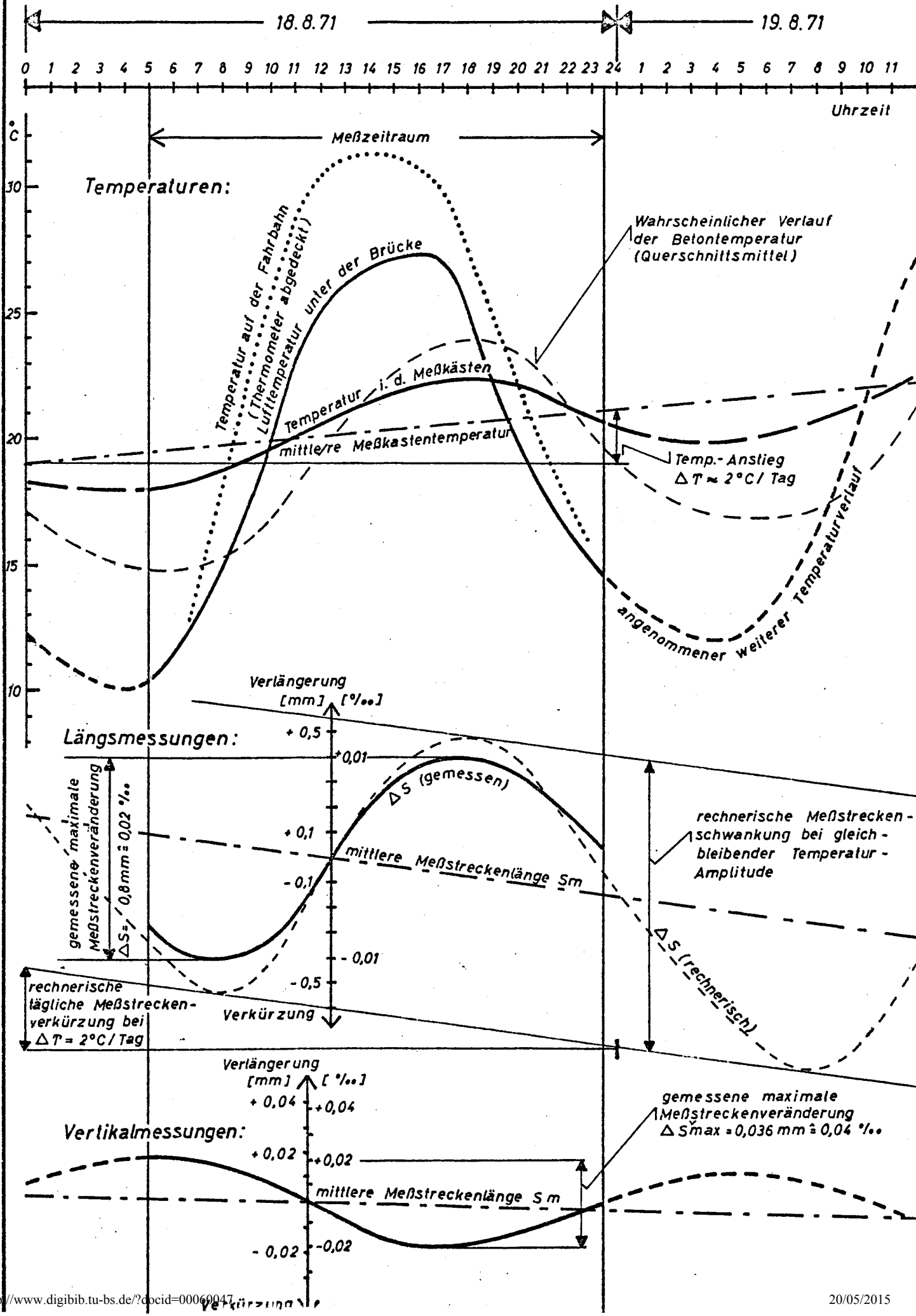
(Höhenbolzen auf OK Fundament)



# Auswertung einer Ganztagsmessreihe:

Anlage 8

## Meßstreckenveränderung bei Temperaturschwankungen



BW Gi II

## Anlage 9

Tabelle 1

[illegible]



Zusammenstellung und Auswertung der Brückenmessungen BW Gi II

## Anlage 9

**Tabelle 2**

0	1	2	3	4	5	6	Horizontalmessung								15	16	17	18	19	Vertikalmessung				25	26	27	28	29	30	31	32	33	34		
							H1		H2		H3		H4							V1		V2													
Zeile	Datum und Uhrzeit	Betonalter Tage	Lufttemperatur °C	wahrscheinliche Betontemperatur °C	wahrscheinliche Meßstabtemperatur °C	Meßgerät	Ablesung	Veränderung der Meßstrecke	Ablesung	Veränderung der Meßstrecke	Ablesung	Veränderung der Meßstrecke	Ablesung	Veränderung der Meßstrecke	Mittelwert der scheinbaren Dehnung mm/mm	Temperaturdehnung des Leichtbetons mm/mm	Temperaturdehnung des Meißabes mm/mm	Differenz Sp. 17 - Sp. 16 mm/mm	Langänderung aus Überbau mm/mm	Meßgerät	Ablesung	Veränderung der Meßstrecke	Ablesung	Veränderung der Meßstrecke	Mittelwert der scheinbaren Dehnung mm/mm	Temperaturdehnung des Leichtbetons mm/mm	Temperaturdehnung des Meißabes mm/mm	Differenz Sp. 27 - Sp. 26 mm/mm	Schwindverformung mm/mm	elastische Verformung mm/mm	Schwinden in Brückenlängsrichtung Sp. 19 - Sp. 30-Sp. 31 mm/mm	reines Kriechen Sp. 19 - Sp. 30-Sp. 31 mm/mm	Bemerkungen	Name	
16	14.8.67 16 <sup>00</sup>	5,4	20°	24°	24°	MH HH	106,48 2,83 17,15	- - -	113,48 2,50 16,00	- - -	95,06 2,83 15,50	- - -	111,08 3,385 15,55	[mm]						SDM Eckig Δ	0,3850 0,5280 0,1330	- - -	0,488 0,528 0,040	- - -						Übertrag: +2,94 +0,075	+1,28 -0,032			Nullmessung (vgl. Zeile 2)	
17	24.8.67 17 <sup>40</sup>	15,5	23°	21°	20°	MU MH	5,980 16,82	3,15 3,3	5,821 15,70	3,22 3,0	6,209 15,25	2,82 2,5	3,995 15,29	3,39 2,6	+3,19 +0,082	+0,93	+1,87	+0,94	+4,13 +0,106											+2,47 +0,063 +5,44 +0,138			Volle Längsvorspannung Gesamte elastische Zusammendrückung infolge Vorspannung: $\epsilon_{ges} = \epsilon_{el1} + \epsilon_{el2} = 0,075 + 0,063 = 0,138 ‰ (= 5,41 \mu m/m)$	Schmidt	
18	25.8.67 8 <sup>00</sup>	16,1	15°	15°	18°	MU MH	6,855 16,76	4,03 3,9	6,891 15,65	4,39 3,5	7,256 15,18	3,87 3,2	5,071 15,19	4,47 3,6	+4,19 +0,108	+2,80	+2,80 ± 0	± 0	+4,19 +0,108																"
19	25.8.67 14 <sup>00</sup>	16,3	24°	20°	20°	MU MH	6,569 16,78	3,74 3,7	6,030 15,68	3,53 3,2	6,458 15,21	3,07 2,9	4,339 15,27	3,74 2,8	+3,52 +0,091	+1,24	+1,87	+0,63	+4,15 +0,107																"
20	28.8.67 17 <sup>00</sup>	19,5	20°	20°	20°	MU	6,595	3,77	6,040	3,54	6,480	3,70	4,435	3,84	+3,56 +0,092	+1,24	+1,87	+0,63	+4,19 +0,108																"
21	30.8.67 9 <sup>00</sup>	21,1	17°	16°	19°	MU MH	6,809 16,78	3,98 3,7	6,621 15,60	4,13 4,0	6,931 15,19	3,86 3,1	4,819 15,20	4,22 3,5	+3,97 +0,102	+2,48	+2,33	-0,15	+3,82 +0,098																"
22	31.8.67 17 <sup>00</sup>	22,5	21°	21°	21°	MU	6,850	4,02	6,285	3,79	6,690	3,31	4,520	3,92	+3,76 +0,097	+0,93	+1,40	+0,47	+4,23 +0,109																"
23	1.9.67 9 <sup>00</sup>	23,1	15°	15°	18°	MU	6,860	4,03	6,765	4,27	7,059	3,67	4,960	4,36	+4,08 +0,105	+2,80	+2,80 ± 0	± 0	+4,08 +0,105																"
24	5.9.67 6 <sup>50</sup>	27	10°	14°	17°	MU	6,862	4,03	6,759	4,26	7,102	3,72	4,988	4,39	+4,10 +0,106	+3,11	+3,26	+0,15	+4,25 +0,109																"
25	5.9.67 19 <sup>00</sup>	27,5	19°	21°	20°	MU	6,419	3,59	6,079	3,58	6,478	3,09	4,279	3,68	+3,48 +0,090	+0,93	+1,87	+0,94	+4,42 +0,114																"
26	6.9.67 6 <sup>30</sup>	28	9°	11°	15°	MU	6,744	3,91	6,632	4,13	6,821	3,44	4,642	4,04	+3,88 +0,100	+4,04	+4,20	+0,16	+4,04 +0,104																"
27	6.9.67 16 <sup>30</sup>	28,4	19°	20°	20°	MU	6,739	3,91	6,389	3,89	6,768	3,38	4,488	3,89	+3,77 +0,097	+1,24	+1,87	+0,63	+4,40 +0,113																"
28	7.9.67 7 <sup>00</sup>	29	8°	10°	14°	MU	6,734	3,90	6,538	4,04	6,779	3,39	4,623	4,02	+3,84 +0,098	+4,35	+4,66	+0,31	+4,15 +0,107																"
29	7.9.67 16 <sup>30</sup>	29,5	20°	18°	18°	MU	6,368	3,54	5,938	3,44	6,218	2,83	4,050	3,45	+3,32 +0,086	+1,87	+2,80	+0,93	+4,25 +0,109																"
30	8.9.67 6 <sup>30</sup>	30	8°	10°	13°	MU	6,424	3,59	6,250	3,75	6,501	3,12	4,412	3,81	+3,56 +0,092	+4,35	+5,13	+0,78	+4,34 +0,112																"
31	8.9.67 15 <sup>30</sup>	30	12°	17°	17°	MU	6,368	3,54	6,061	3,56	6,394	3,01	4,252	3,65	+3,44 +0,089	+2,17	+3,26	+1,09	+4,53 +0,117																"
32	14.9.67 10 <sup>30</sup>	36	15°	12°	14°	MU	5,783	2,85	5,759	3,26	6,079	2,68	3,840	3,24	+3,04 +0,078	+3,73	+4,66	+0,93	+3,97 +0,102																"

## Zusammenstellung und Auswertung der Brückenmessungen BW Gi 11

Anlage 9

Tabelle 3

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	
Zeile	Datum und Uhrzeit	Betonalter	Lufttemperatur	wahrscheinliche Betontemperatur	wahrscheinliche Meßblechtemperatur	Meßgerät	Horizontalmessung				Mittelwert der scheinbaren Dehnung	Temperaturdehnung des Leichtbetons	Temperaturdehnung des Meßstabes	Differenz Sp. 17 - Sp. 16	Längsänderung des Überbaues	Vertikalmessung				Mittelwert der scheinbaren Dehnung	Temperaturdehnung des Leichtbetons	Temperaturdehnung des Meßstabes	Differenz Sp. 27 - Sp. 26	Schwindverformung	elastische Verformung	Schwinden in Brückenlängsrichtung	reines Kriechen Sp. 19 - Sp. 30 - Sp. 31	Bemerkungen	Name						
							H1	H2	H3	H4						V1	V2																		
	Tag	°C	°C	°C		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm			
33	14.8.67 16 <sup>00</sup>	54	24°	24°	24°	Mi MU MH	406,48 2,83 17,15	- - -	113,48 2,50 16,00	- - -	95,06 3,385 15,50	- - -	141,08 0,60 15,55	- - -	-	SDM Eichg. Δ	0,395 0,528 0,133	- - -	0,488 0,528 0,040	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	Nullmessung (vgl. Zeile 2)		
34	26.9.67 10 <sup>00</sup>	47	17°	14°	15°	MU	5,692	2,86	5,958	3,46	6,472	3,09	4,132	3,53	+3,24 +9,083	+3,11	+4,20	+1,09	+4,33 +9,112	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Schmidt	
35	6.10.67 9 <sup>15</sup>	57	12°	11°	14°	MU MM MM MM/MM Mi	5,790 16,84 20,00 20,31 103,71	2,96 3,1 - - 2,77	5,528 15,72 18,00 18,28 110,66	3,03 2,8 - - 2,82	5,866 15,29 20,00 20,21 93,20	2,48 2,1 - - 1,86	3,528 15,28 18,00 18,27 108,28	2,93 2,7 - - 2,70	+2,85 +9,070 +2,54	+4,04	+5,60	+1,56	SDM Eichg. Δ	0,508 3,521 0,103	0,120 0,521 0,072	0,112 0,116 0,129	0,094 0,096 0,094	0,096 0,096 0,002	0,002 0,002 0,002	0,114 0,117 0,117	3,41 4,94 3,91	-4,94 +3,91 +0,101	-	-	-	-	Letzte MU-Ablesung (anschließend Ausbau der Meßuhren) Alte MM-Ablesung vor dem Vorstellen der MM-Skala Neue " " nach " " " Neuer Nullwert der MM-Ablesungen Anschlußmessung mit der Mikrometerschraube	Böhner	
36	1.12.67 16 <sup>00</sup>	113	+1°	+1°	+1°	Mi MM	105,85 20,20	0,63 1,1	112,67 18,17	0,81 1,1	95,27 20,20	0,21 0,1	110,52 18,19	0,56 0,8	+0,45 +0,012	+7,15	+10,72	+3,57	+4,02 +9,104 Δ	SDM Eichg. Δ	0,564 0,524 0,040	0,173 0,520 0,149	0,669 0,520 0,149	0,189 0,201	0,181 0,166	0,221 0,221	0,055 0,055	0,126 0,140	-5,45 -0,140	+4,06 +0,103	-	-	Böhner		
37	1.1.68 11 <sup>00</sup>	203	-1°	-2°	-5°	Mi MM	107,41 20,40	-0,93 -0,9	- 18,35	- -0,70	96,86 20,38	-1,80 -1,7	111,83 18,37	0,75 -1,0	-1,16 -0,030	+8,09	+13,52	+5,41	+4,25 +9,109 Δ	SDM Eichg. Δ	0,640 0,544 0,096	0,229 0,535 0,203	0,738 0,544 0,203	0,243 0,262	0,236 0,187	0,278 0,278	0,091 0,091	0,145 0,161	-6,26 -0,161	+5,10 +0,131	-	-	"		
38	12.7.68 10 <sup>30</sup>	337	+12°	+11°	+15°	Mi MM	102,11 19,85	4,37 4,6	109,16 17,85	4,32 4,3	91,81 19,88	3,25 3,3	106,57 17,81	4,51 4,6	+4,41 +9,106	+4,04	+4,20	+0,16	+4,27 +9,110 Δ	SDM Eichg. Δ	0,456 0,452 0,004	0,137 0,451 0,104	0,555 0,451 0,104	0,144 0,157	0,141 0,157	0,094 0,115	0,021 0,021	0,120 0,133	-5,21 -0,133	+4,07 +0,105	-	-	Böhner/ Hjorth		
39	31.10.68 11 <sup>30</sup>	446	+15°	+13°	+12°	Mi MM	104,07 20,13	2,41 1,8	111,17 17,95	2,31 3,3	93,77 20,04	1,29 1,7	108,69 18,03	2,39 2,4	+3,10 +0,054	+3,42	+5,60	+2,18	+4,28 +9,110 Δ	SDM Eichg. Δ	0,492 0,457 0,035	0,168 0,457 0,145	0,602 0,457 0,145	0,185 0,176	0,176 0,176	0,079 0,115	0,036 0,036	0,140 0,156	-6,06 -0,156	+4,93 +0,127	-	-	Hjorth		
40	12.12.68 8 <sup>30</sup>	490	-12°	-13°	-12°	Mi MM MM/MM Mi	106,48 20,30 104,48 104,48	0,01 0,1 - - 0,01	114,05 18,35 18,35 18,35	0,57 -0,7 - - 0,57	96,82 20,35 18,35 18,35	-1,76 -1,4 -1,4 -1,4	111,55 18,35 18,35 18,35	0,47 -1,2 -1,2 -1,2	-0,70 -0,018	+1,50	+16,80	+5,30	+4,60 +9,118 Δ	SDM Eichg. Δ	0,539 0,444 0,095	0,228 0,444 0,231	0,675 0,444 0,231	0,271 0,278	0,249 0,278	0,266 0,346	0,080 0,080	0,169 0,187	-7,25 -0,187	+6,44 +0,166	-	-	Reparatur: Meßmarke (Mi) bei H1 um 2,3 mm verschoben Neuer Nullwert Mi bei H1: 106,48 - 2,30 = 104,18 mm	"	
41	14.4.69 11 <sup>00</sup>	612	+6°	+3°	+3°	Mi MM	102,62 20,15	1,56 1,6	112,34 18,15	1,14 1,3	94,93 20,20	0,13 0,1	109,47 18,10	1,61 1,7	+1,11 +0,029	+6,53	+9,80	+3,27	+4,38 +9,143 Δ	SDM Eichg. Δ	0,501 0,452 0,048	0,181 0,452 0,161	0,613 0,452 0,161	0,201 0,212	0,191 0,212	0,151 0,202	0,051 0,051	0,140 0,156	-6,06 -0,156	+5,03 +0,130	-	-	"		
42	23.7.69 9 <sup>30</sup>	712	+24°	+19°	+20°	Mi MM	100,21 19,93	3,97 3,8	109,68 17,9	3,80 3,8	92,19 19,88	2,87 3,3	106,30 17,82	4,78 4,5	+3,86 +0,099	+1,55	+1,87	+0,32	+4,18 +9,108 Δ	SDM Eichg. Δ	0,444 0,456 0,012	0,121 0,456 0,012	0,540 0,455 0,085	0,125 0,137	0,123 0,137	0,036 0,036	0,038 0,038	0,042 0,042	0,121 0,134	-5,21 -0,134	+3,98 +0,102	-	-	ganztägig Messungen von 6 <sup>00</sup> - 20 <sup>00</sup>	"
43	25.9.69 16 <sup>30</sup>	775	+17°	+14°	+14°	Mi MM	101,16 20,00	3,02 3,1	110,70 18,00	2,78 2,80	93,32 20,00	2,74 2,1	107,58 17,94	3,50 3,3	+2,76 +0,071	+3,11	+4,66	+1,55	+4,31 +9,111 Δ	SDM Eichg. Δ	0,450 0,458 0,008	0,125 0,457 0,105	0,542 0,457 0,105	0,145 0,150	0,135 0,150	0,072 0,096	0,024 0,024	0,111 0,123	-4,77 -0,123	+3,67 +0,096	-	-	Asphaltbelag aufgebracht	"	
44	4.12.69 11 <sup>00</sup>	845	-5°	-9°	-6°	Mi MM	103,40 20,23	0,78 0,8	113,22 18,25	0,26 0,3	95,79 20,20	0,73 0,1	110,98 18,19	1,00 0,80	+0,33 +0,008	+4,28	+13,94	+2,71	+4,04 +9,104 Δ	SDM Eichg. Δ	0,473 0,454 0,009	0,152 0,454 0,145	0,595 0,450 0,145	0,185 0,187	0,168 0,187	0,238 0,238	0,288 0,288	0,050 0,050	0,118 0,131	-5,10 -0,131	+3,73 +0,096	-	-	Schneehöhe auf der Brücke 10 cm	"

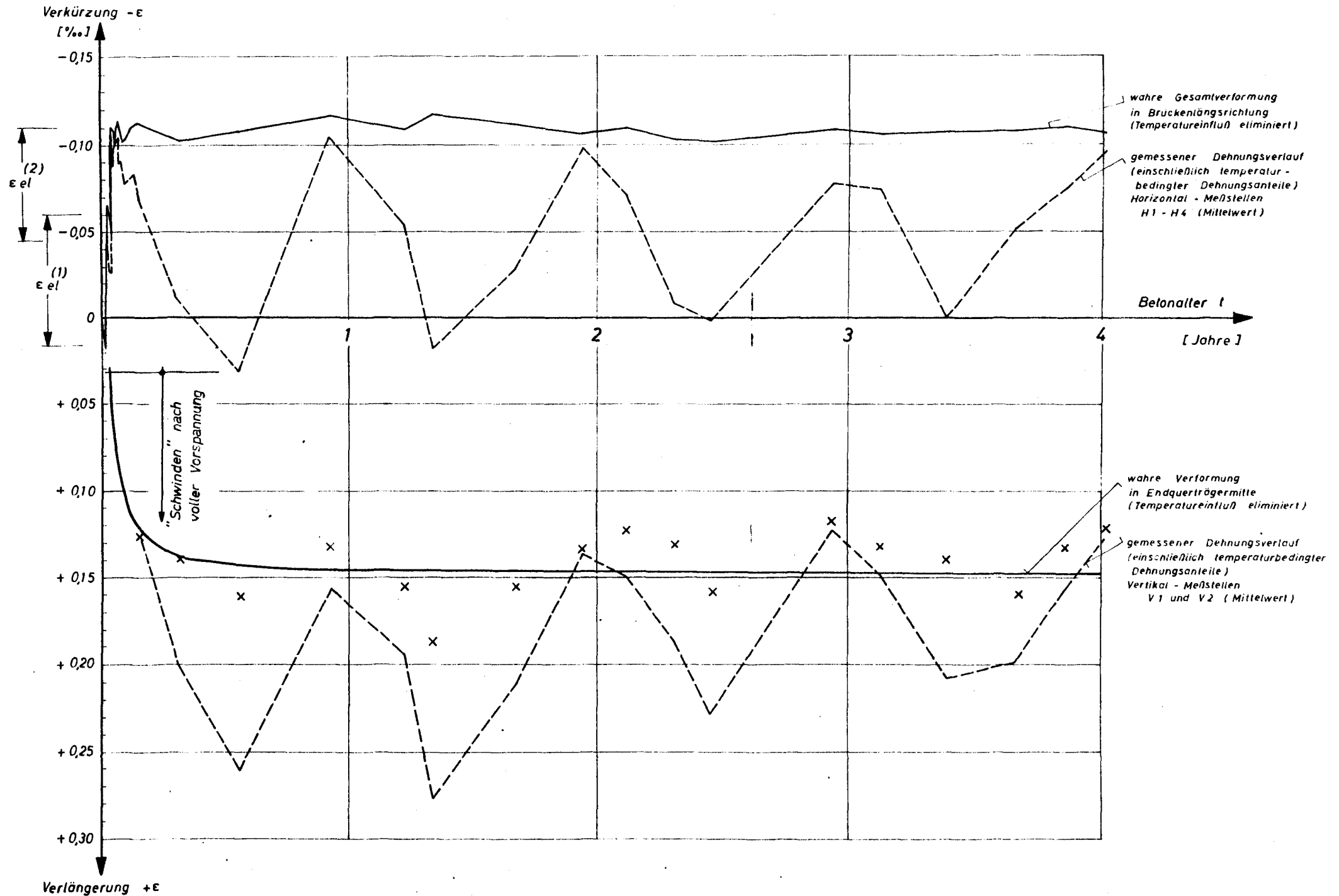
## Zusammenstellung und Auswertung der Brückenmessungen BW G11

Anlage 9

Tabelle 4

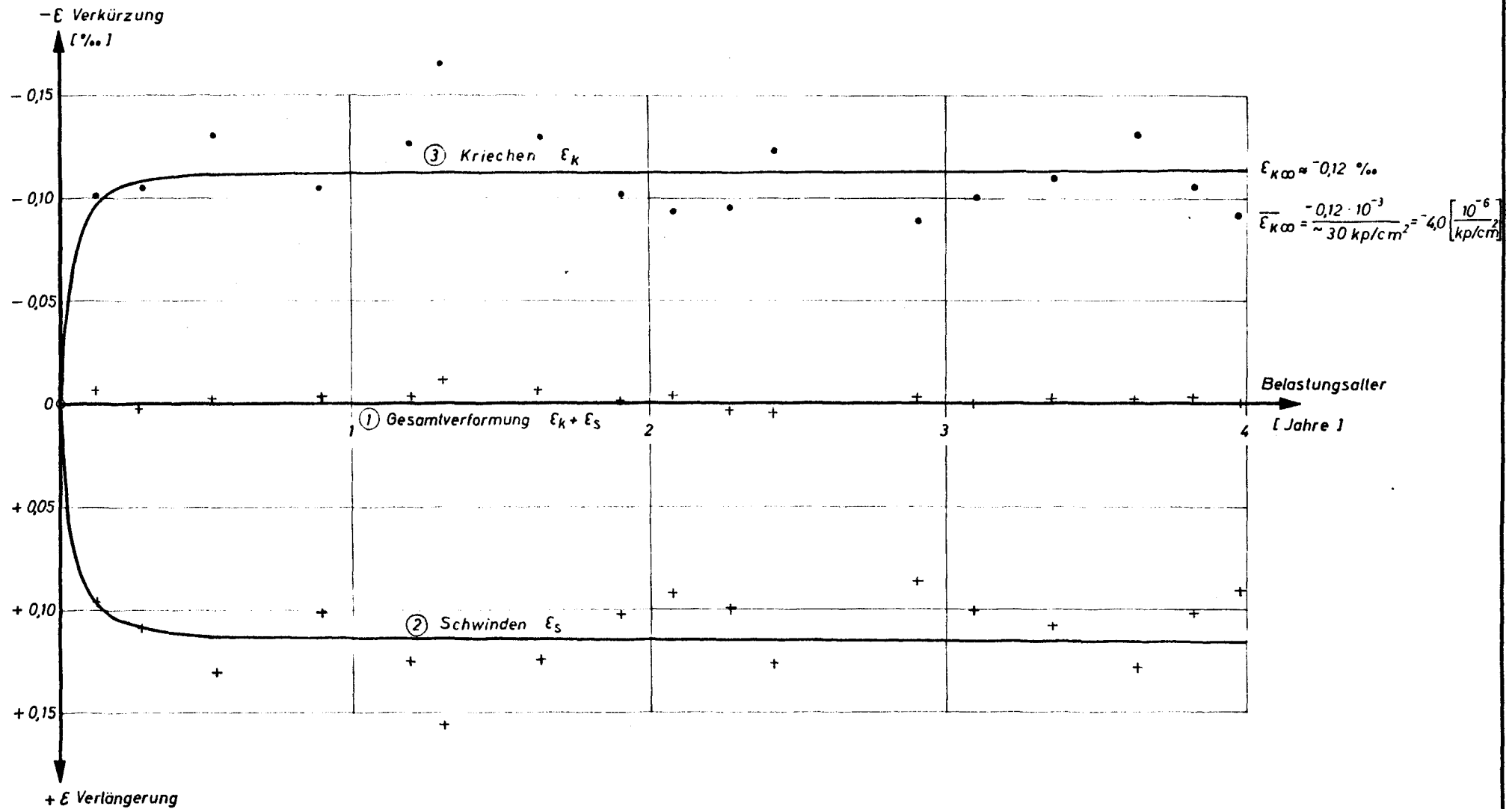
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34			
Zeile	Datum und Uhrzeit	Betontalter	Lufttemperatur t <sub>l</sub>	wahrscheinliche Betontemperatur t <sub>b</sub>	wahrscheinliche Meßblechtemperatur t <sub>m</sub>	Horizontalmessung										Mittelwert der scheinbaren Dehnung $\epsilon_{\text{mittel}}$	Temperaturdehnung des Leichtbetons $\epsilon_{\text{LT}}$	Temperaturdehnung des Meßstabes $\epsilon_{\text{MS}}$	Differenz Sp. 17 - Sp. 16 $\Delta \epsilon$	Längenänderung des Überbaues $\Delta L$	Vertikalmessung				Mittelwert der scheinbaren Dehnung $\epsilon_{\text{mittel}}$	Temperaturdehnung des Leichtbetons $\epsilon_{\text{LT}}$	Temperaturdehnung des Meßstabes $\epsilon_{\text{MS}}$	Differenz Sp. 27 - Sp. 26 $\Delta \epsilon$	Schwindverformung $\epsilon_{\text{sw}}$	elastische Verformung $\epsilon_{\text{el}}$	Schwinden in Brückenlängsrichtung Sp. 31 - Sp. 30, Sp. 32	reines Kriechen Sp. 31 - Sp. 30, Sp. 32	Bemerkungen	Name			
						Meßgerät	Ablesung	Veränderung der Meßstrecke	Ablesung	Veränderung der Meßstrecke	Ablesung	Veränderung der Meßstrecke	Ablesung	Veränderung der Meßstrecke	Ablesung						Veränderung der Meßstrecke	Meßgerät	Ablesung	Veränderung der Meßstrecke											Ablesung	Veränderung der Meßstrecke	mm /100
45	14.8.67 16 <sup>00</sup>	5,4	20°	24°	24°	Mi MU MH	104,18 2,83 20,31	- - -	113,48 2,50 18,28	- - -	95,06 3,385 20,21	- - -	111,08 0,60 18,27	- - -	-	-	-	-	-	-	SDM Eichg Δ	0,395 0,528 0,133	- - -	0,488 0,528 0,040	- - -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Länge der Maßstäbe: horizontal = 38,84 m; vertikal = 0,80 m Betonmeßlänge : horizontal = 39,00 m; vertikal = 0,90 m Vorzeichen der Dehnungen : + = Verkürzung ; - = Verlängerung Temperaturausdehnungskoeffizienten: $\alpha_{\text{Stahl}} = 1,20 \cdot 10^{-5}$ ; $\alpha_{\text{ILB}} = 0,80 \cdot 10^{-5}$ MU = Meßuhr, M = Mikrometer, MM = Millimeterskala	
																																			gültige Nullwerte (vgl. Zeile 2, Zeile 35 und Zeile 40)		
46	26.1.70 11 <sup>00</sup>	898	+1°	-2°	-2°	Mi MH	104,38 20,33	+0,20 -0,2	113,73 18,30	-0,25 0,2	95,82 20,25	-0,76 -0,4	110,40 18,24	0,68 0,3	-0,03 -0,001	+8,10 +12,13	+4,03	+4,00 +0,103	SDM Eichg Δ	0,502 0,447 0,055	-0,188 0,446 0,184	0,630 0,446 0,184	0,224 -0,229	0,206 -0,229	+0,187 +0,250	+0,063 +0,063	0,143 0,159	-	-6,18 -0,159	+4,77 +0,123			Schneehöhe auf der Brücke 25 cm	Hjor			
47	24.7.70 15 <sup>30</sup>	1076	+23,5°	+22°	+20°	Mi MH	100,43 19,95	3,75 3,6	110,41 18,00	3,07 2,8	92,77 19,93	2,29 2,8	- -	- -	+3,04 +0,078	+0,62 +1,87	7,25	+4,29 +0,110	SDM Eichg Δ	0,502 0,532 0,030	-0,103 0,532 0,079	0,611 0,532 0,079	0,119 0,123	+0,111 +0,014	+0,019 +0,019	+0,005 +0,005	0,106 0,118	-	-4,59 -0,118	+3,47 +0,089							
48	1.10.70 14 <sup>00</sup>	1145	+11°	+10°	+12°	Mi MH	100,80 19,97	3,38 3,4	110,65 18,00	2,83 2,8	93,16 19,95	1,90 2,6	107,55 17,94	3,53 3,3	+2,91 +0,075	+4,35 +5,60	+1,25	+4,16 +0,107	SDM Eichg Δ	0,519 0,522 0,003	-0,130 0,522 0,098	0,620 0,522 0,098	0,138 0,149	+0,134 +0,101	+0,115 +0,004	+0,004 +0,004	0,120 0,133	-	-5,16 -0,133	+3,91 +0,101			1.10.70. Reparatur der Meßplättchen für Mi-Messungen Neue Nullwerte H2 = H4				
49	4.1.71 10 <sup>00</sup>	1240	-7°	-9°	-7°	Mi MH	103,66 20,25	0,52 0,6	114,52 18,30	0,10 -0,2	96,34 20,27	1,00 -0,6	111,00 18,22	0,70 0,5	+0,03 +0,001	+10,28 +14,50	+4,22	+4,25 +0,107	SDM Eichg Δ	0,549 0,516 +0,033	-0,166 0,516 0,168	0,683 0,516 0,168	0,208 -0,208	+0,235 +0,235	+0,238 +0,061	+0,061 +0,061	0,126 0,140	-	-5,44 -0,140	+4,28 +0,110							
50	15.4.71 9 <sup>30</sup>	1341	+13°	+10°	+10°	Mi MH	102,01 20,12	2,17 1,9	112,31 18,09	2,05 1,9	94,08 20,02	1,26 1,9	- -	- -	+2,07 +0,033	+4,36 +6,53	+2,17	+4,24 +0,108	SDM Eichg Δ	0,562 0,526 +0,036	-0,169 0,526 0,148	0,674 0,526 0,148	0,188 -0,199	+0,179 +0,101	+0,135 +0,034	+0,034 +0,034	0,145 0,161	-	-6,26 -0,161	+5,09 +0,131							
51	23.6.71 11 <sup>30</sup>	1410	+15°	+15°	+15°	Mi MH	100,83 20,00	3,29 3,1	111,63 18,00	2,79 2,8	93,45 19,97	1,89 2,4	108,09 17,93	3,61 3,4	+2,90 +0,075	+2,80 +4,20	+1,40	+4,30 +0,111	SDM Eichg Δ	0,527 0,535 -0,008	-0,125 0,535 0,008	0,650 0,532 0,118	0,158 -0,158	+0,142 +0,065	+0,065 +0,021	+0,021 +0,021	0,121 0,134	-	-5,21 -0,134	+4,10 +0,105							
52	18.8.71 12 <sup>30</sup>	1466	+26°	+20,2°	+20,5°	Mi MH	100,00 19,90	4,18 4,1	110,76 17,90	3,66 3,8	92,59 19,89	2,75 3,2	107,29 17,85	4,41 4,2	+3,75 +0,096	+1,18 +1,63	+0,45	+4,20 +0,108	SDM Eichg Δ	0,511 0,511 0,027	-0,106 0,511 0,027	0,624 0,538 0,086	0,126 0,129	+0,116 +0,027	+0,034 +0,007	+0,007 +0,007	0,109 0,121	-	-4,70 -0,121	+3,49 +0,091			ganztägig Messungen von 5°-24° (s. bes. Protokoll)				

# Gemessener Dehnungsverlauf



# Zeitabhängige Verformungsanteile nach Belastung

- ① Gesamtverformung (abzüglich elastischer Verkürzung infolge Vorspannung)  $\epsilon_{ges} - \epsilon_{el} = \epsilon_k + \epsilon_s \approx 0$
- ② Schwindverlauf nach Belastung
- ③ Reiner Kriechanteil

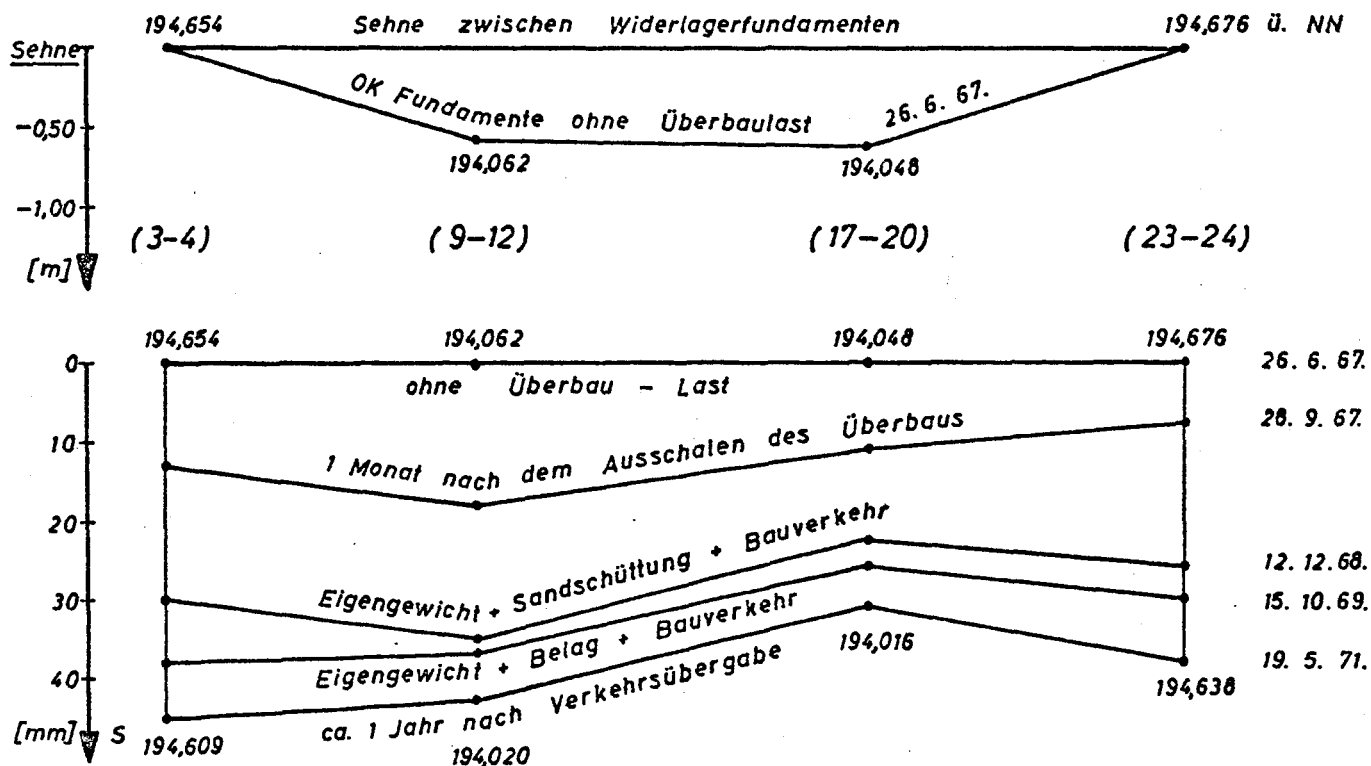


# Fundament - Setzungen

Osterode ←

Fundamente Seite Gittelde

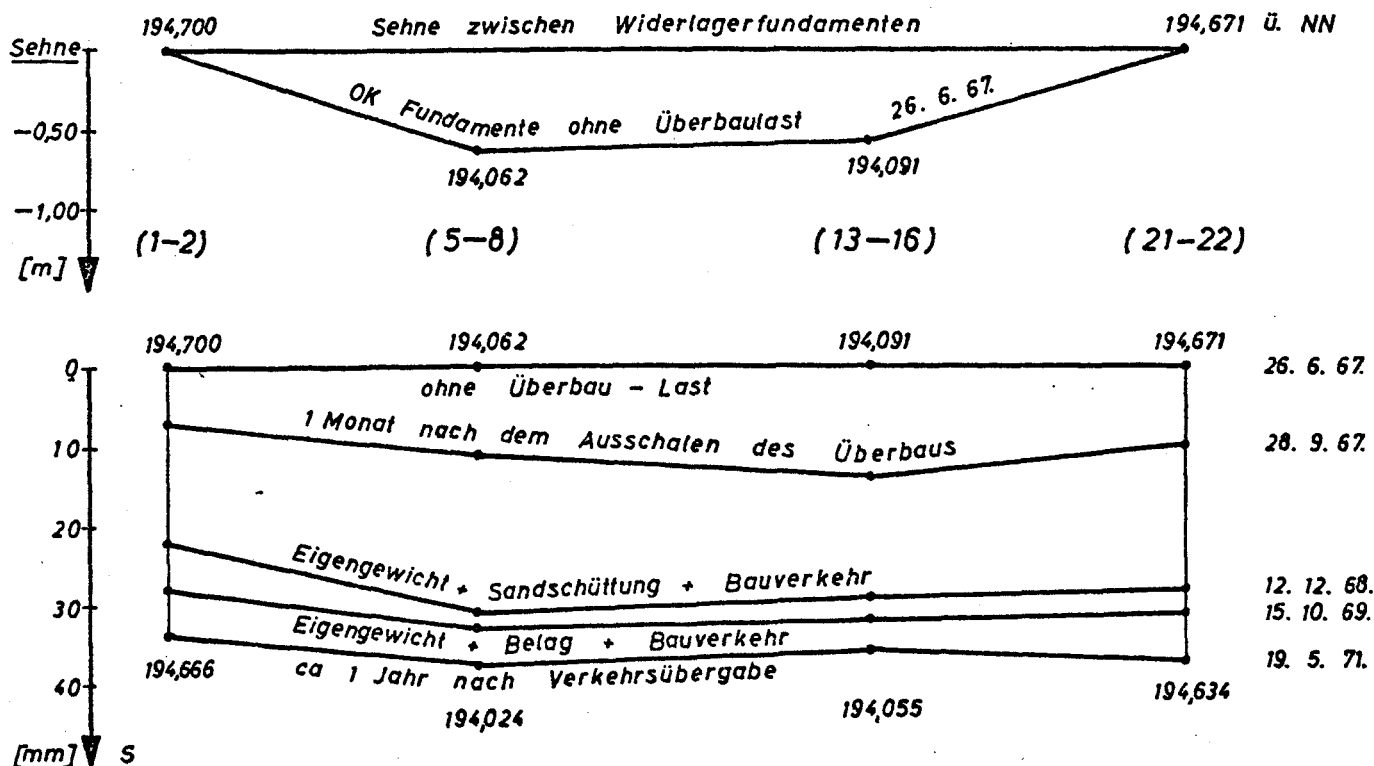
→ Seesen



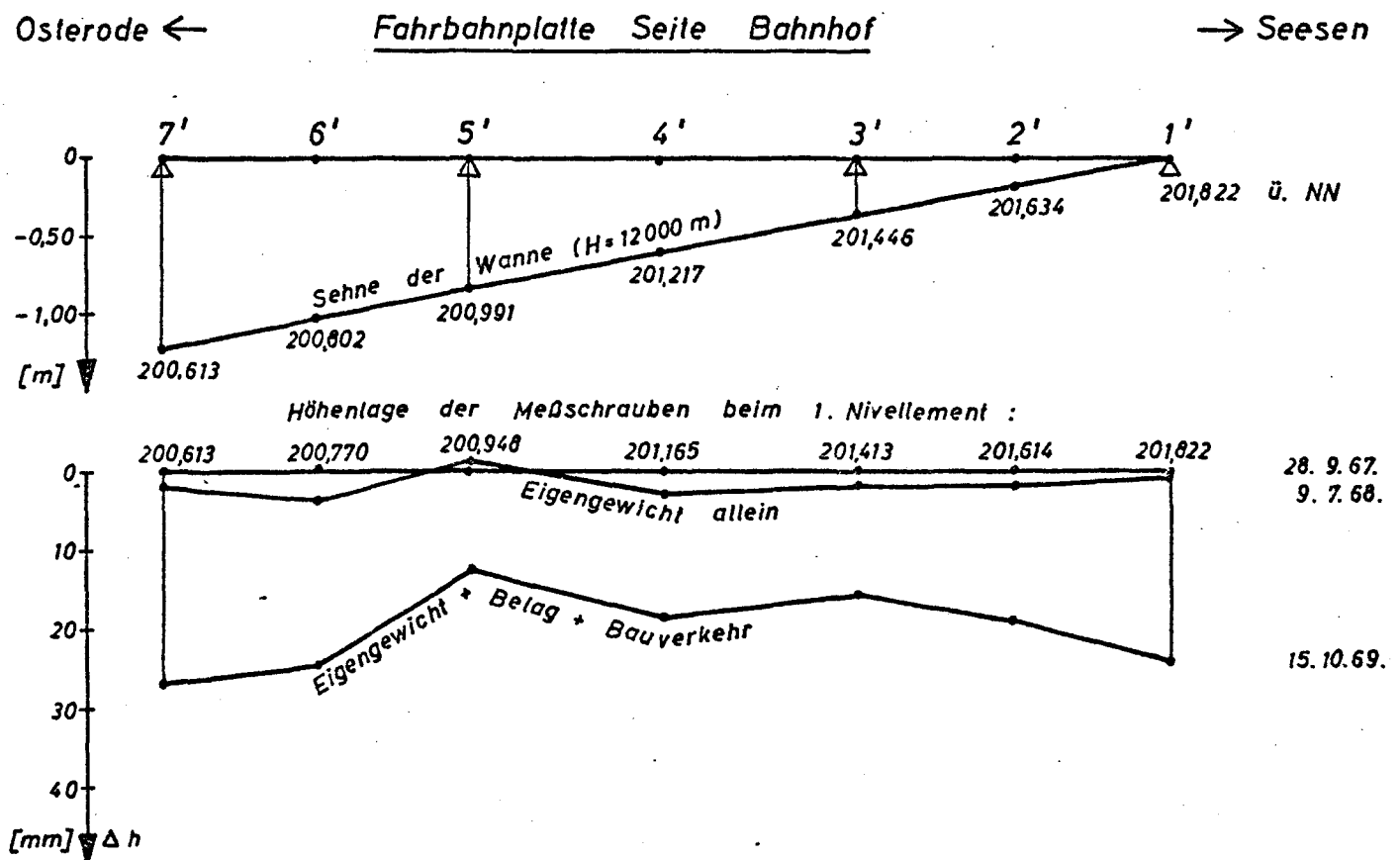
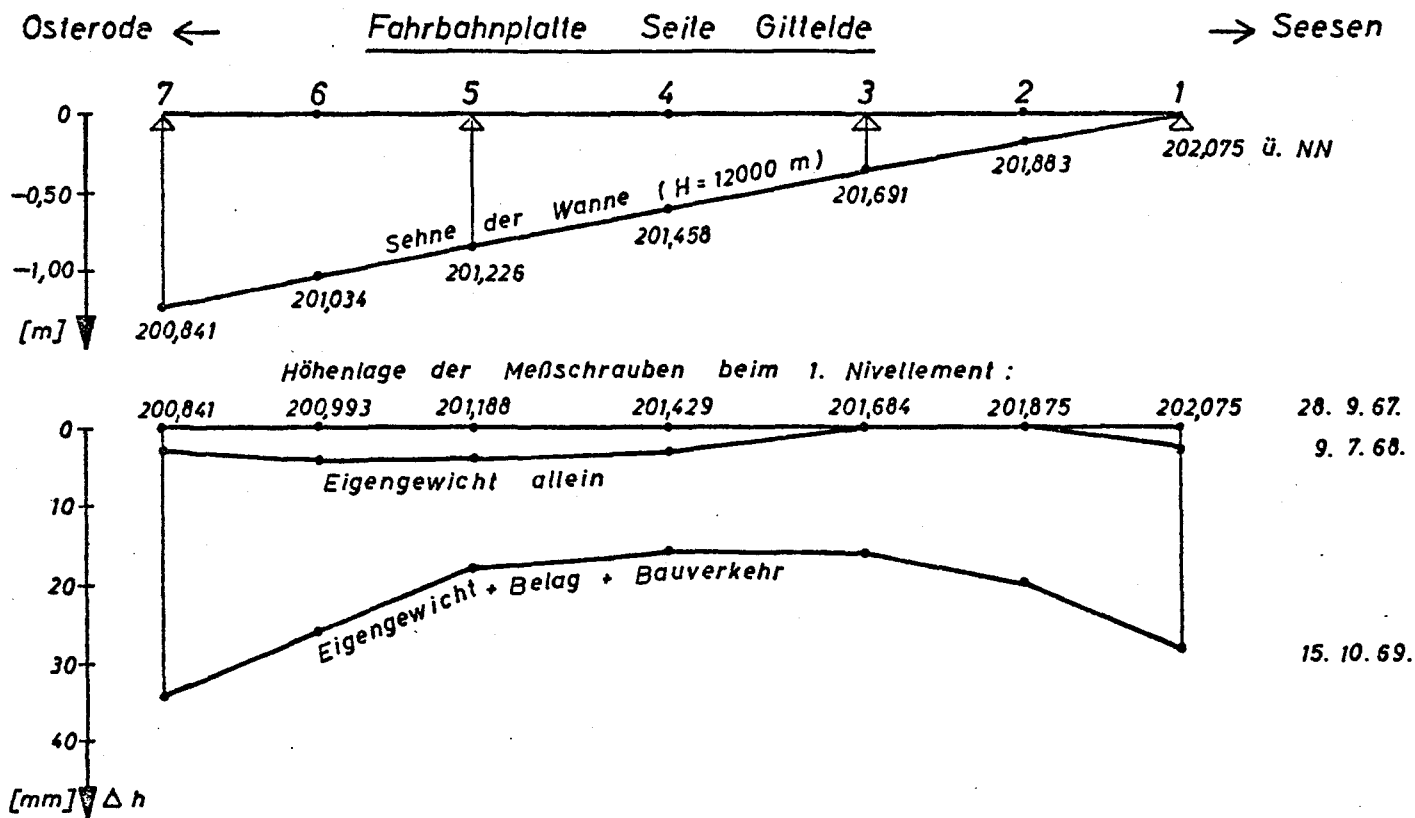
Osterode ←

Fundamente Seite Bahnhof

→ Seesen



# Höhenänderungen des Überbaus



## Anhang A

*Ermittlung des Temperatúrausdehnungs –  
Koeffizienten des Blähschiefer – Leichtbetons*



# Bestimmung der Temperatúrausdehnungskoeffizienten $\alpha_t$ von Norlit-Leichtbeton

Prüfkörper : KLB III / S I  
Abmessungen :  $\varnothing = 20 \text{ cm}$ ,  $h = 80 \text{ cm}$   
(unbewehrt)

hergestellt am : 24. 5. 68  
Meßreihenbeginn : 18. 4. 69  
Betonalter 329 Tage

Meßgerät : Setzdehnungsmesser  
( $500 \pm 2 \text{ mm}$ )  
Meßgenauigkeit : 1 Skl  $\approx 1/490 \text{ mm}$

## Meßprotokoll

## Meßreihe 1

Ild. Nr.	Datum	Uhrzeit	Luft- temp. $T [^{\circ}\text{C}]$	rel. LF [%]	Ablesung				Bemerkung
					Meßstelle 1	2	3	4	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	18.4.69.	12 <sup>45</sup>	20	65	14 97,0	15 10,5	14 81,0	14 41,0	Nullmessung
2	"	15 <sup>45</sup>	15	65	14 89,0	15 02,5	14 73,0	14 33,0	
3	21.4.69.	8 <sup>35</sup>	15	80	14 87,5	15 01,5	14 72,0	14 32,0	Stetiger Anstieg der rel. Luftfeuchte seit 19.4., 12 <sup>00</sup>
4	"	12 <sup>55</sup>	10	67	14 80,0	14 94,0	14 66,0	14 25,5	Dauer des Temp.-u. Feuchtigkeit- Rückgangs $\sim 4 \text{ Std.}$
5	"	14 <sup>35</sup>	10	70	14 79,0	14 93,5	14 64,5	14 24,5	
6	"	16 <sup>55</sup>	10	70	14 77,5	14 92,5	14 63,5	14 23,5	
7	23.4.69.	8 <sup>00</sup>	10	63	14 77,0	14 92,0	14 63,0	14 23,0	

Anhang A

Blatt 1

# Bestimmung der Temperatureausdehnungskoeffizienten $\alpha_t$ von Norlit-Leichtbeton

Prüfkörper : KLB III / S I

Abmessungen :  $\varnothing = 20 \text{ cm}$ ,  $h = 80 \text{ cm}$   
(unbewehrt)

hergestellt am : 24.5.68

Meßreihenbeginn : 18.4.69

Betonalter 329 Tage

Meßgerät : Setzdehnungsmesser  
( $500 \pm 2 \text{ mm}$ )

Meßgenauigkeit : 1 Skl  $\hat{=} 1/490 \text{ mm}$

## Auswertung

## Meßreihe 1

Ild. Nr.	Datum und Uhrzeit	Luft- temp. [°C]	$\Delta T$ [°C]	rel. LF [%]	Verformung bezogen auf Ild. Nr.	Dauer der Temperatur- einwirkung	Dehnung $\epsilon_l$ in ‰					$\alpha_l = \epsilon_l / \Delta T$ [ $10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$ ]
							Meßstelle				Mittel	
							1	2	3	4		
1	18.4.69. 12,45	20	—	65	—	—	—	—	—	—	—	Nullmessung
2	18.4.69. 15,45	15	— 5	65	1	2 <sup>h</sup> , 45 min	0,0327	0,0327	0,0327	0,0327	0,0327	0,65
3	21.4.69. 8,35	15	— 5	80	1	67 <sup>h</sup> , 35 min	0,0388	0,0367	0,0367	0,0367	0,0372	0,75
4	21.4.69. 12,55	10	— 5	67	3	10 min	0,0306	0,0306	0,0245	0,0265	0,0281	0,56
5	21.4.69. 14,35	10	— 5	70	3	1 <sup>h</sup> , 50 min	0,0347	0,0327	0,0306	0,0306	0,0321	0,64
6	21.4.69. 16,55	10	— 5	70	3	4 <sup>h</sup> , 10 min	0,0408	0,0367	0,0347	0,0347	0,0367	0,74
7	23.4.69. 8,00	10	— 5	63	3	43 <sup>h</sup>	0,0429	0,0388	0,0367	0,0367	0,0388	0,78
7a	"	10	— 10	"	1	—	0,0816	0,0755	0,0735	0,0735	0,0760	<u>0,76</u>

Anhang A

Blatt 2

### Bestimmung der Temperatureausdehnungskoeffizienten $\alpha_t$ von Norlit-Leichtbeton

Prüfkörper : KLB III / S I

Abmessungen :  $\varnothing = 20 \text{ cm}$ ,  $h = 80 \text{ cm}$   
(unbewehrt)

hergestellt am : 24.5.68

Meßreihenbeginn : 31.10.69.

*Betonaller* 525 Tage

Meßgerät : Setzdehnungsmesser  
( $500 \pm 2 \text{ mm}$ )

Meßgenauigkeit : 1 Skt  $\hat{=}$   $\frac{1}{490}$  mm

# Meßprotokoll

Meßreihe 2

[illegible]

## Anhang A

Blair 3

# Bestimmung der Temperatureausdehnungskoeffizienten $\alpha_t$ von Norlit-Leichtbeton

Prüfkörper : KLB III / S I

Abmessungen :  $\varnothing = 20 \text{ cm}$ ,  $h = 80 \text{ cm}$   
(unbewehrt)

hergestellt am : 24.5.68

Meßreihenbeginn : 31.10.69

Betonalter 525 Tage

Meßgerät : Setzdehnungsmesser  
( $500 \pm 2 \text{ mm}$ )

Meßgenauigkeit : 1 Skt  $\approx 1/490 \text{ mm}$

## Auswertung

## Meßreihe 2

Ifd. Nr.	Datum und Uhrzeit	Luft- temp. [°C]	$\Delta T$ [°C]	rel. LF [%]	Verformung bezogen auf Ifd. Nr.	Dauer der Temperatur- einwirkung	Dehnung $\epsilon_t$ in ‰					$\alpha_t = \epsilon_t / \Delta T$ [ $10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$ ]
							Meßstelle				Mittel	
							1	2	3	4		
1	31.10.69. 8,30	20	-	65	-	-	-	-	-	-	-	Nullmessung
2	31.10.69. 15,00	-4	-24	52	1	6 h	0,163	0,161	0,165	0,165	0,164	0,68
3	3.11.69. 10,00	-4	-24	52	1	3 Tage	0,178	0,176	0,194	0,182	0,183	0,76
4	5.11.69. 8,10	-4	-24	50	1	5 Tage	0,176	0,176	0,176	0,184	0,178	0,74
												angenommener Endwert: <u>0,76</u>

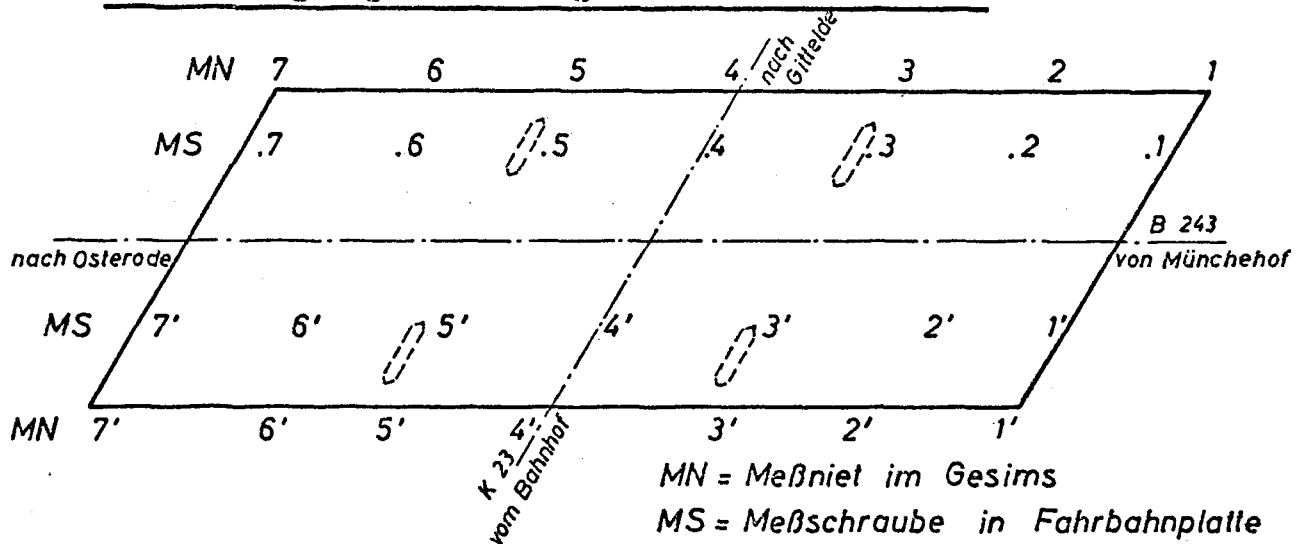
Anhang A

Blatt 4

# Anhang B

## *Protokolle der Durchbiegungs- und Setzungsmessungen*

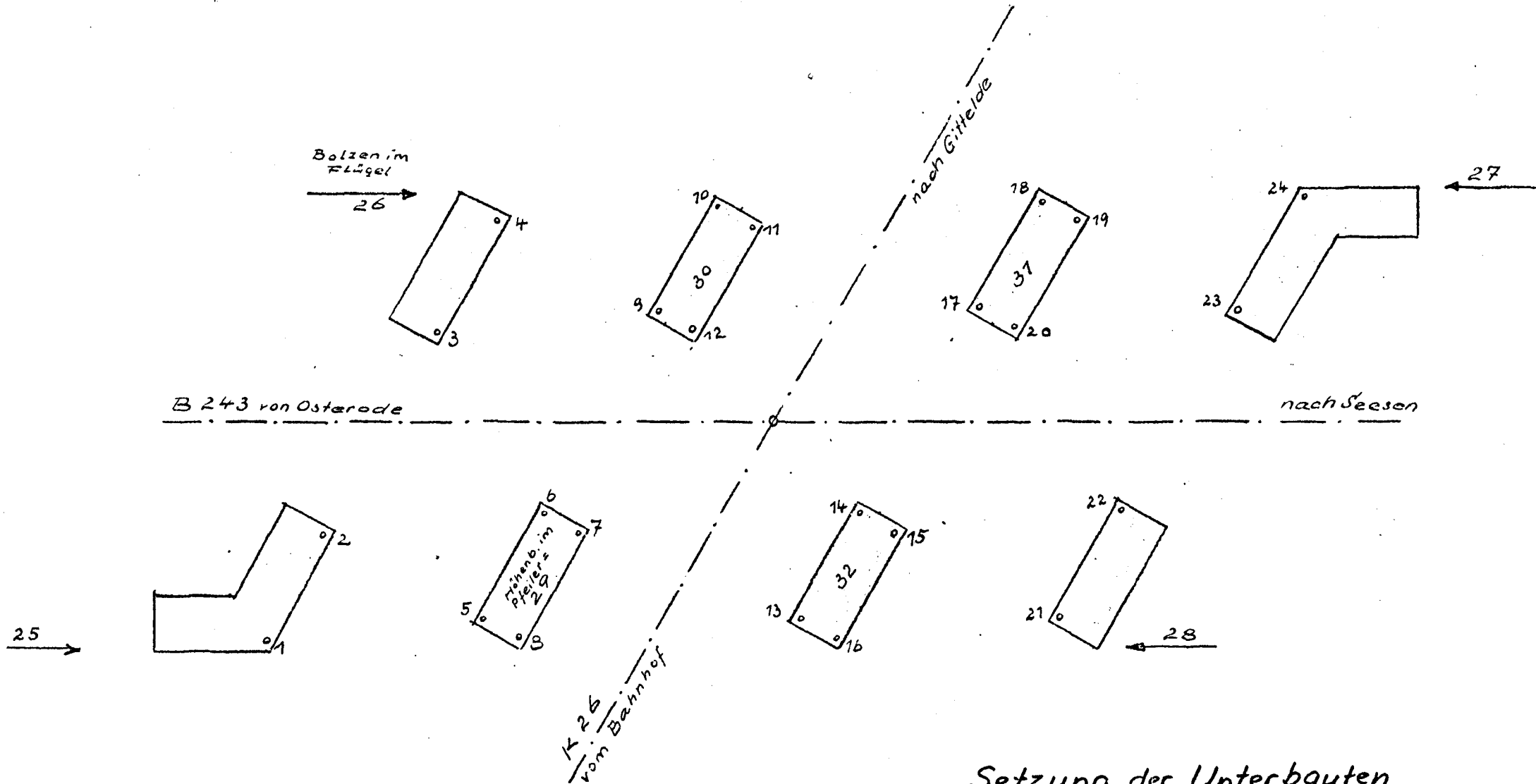
# Durchbiegungsmessungen am Überbau



MN = Meßniet im Gesims

MS = Meßschraube in Fahrbahnplatte

										- Differenz -			
Meßpunkt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	4-6	4-7	4-9	1-9
MN 1	202,370	2,370	2,370	2,370	2,345	2,343	2,343	2,342	2,338	-27	-27	-32	-32
" 2	202,162	2,161	2,162	2,160	2,147	2,143	2,141	2,142	2,140	-17	-19	-20	-22
" 3	201,977	1,975	1,976	1,974	1,968	1,964	1,962	1,963	1,961	-10	-12	-13	-16
" 4	201,732	1,730	1,731	1,729	1,725	1,720	1,719	1,720	1,716	-9	-10	-13	-16
" 5	201,501	1,499	1,500	1,498	1,490	1,487	1,485	1,486	1,482	-11	-13	-16	-19
" 6	201,311	1,309	1,309	1,307	1,295	1,292	1,290	1,291	1,286	-15	-17	-21	-25
" 7	201,152	1,152	1,151	1,149	1,129	1,127	1,125	1,125	1,118	-22	-25	-31	-34
MS 1	202,075	2,075	2,075	2,072	Infolge Überschüttung der Fahrbahnplatte für Bausstellen- verkehr nicht zu messen!				2,047			-25	-28
" 2	201,875	1,874	1,875	1,875					1,855			-20	-20
" 3	201,684	1,684	1,684	1,684					1,668			-16	-16
" 4	201,429	1,428	1,428	1,426					1,413			-13	-16
" 5	201,188	1,187	1,186	1,184					1,170			-14	-18
" 6	200,993	0,992	0,991	0,989					0,967			-22	-26
" 7	200,841	0,840	0,839	0,838					0,807			-31	-34
MS 1'	201,822	1,822	1,823	1,821	Infolge Überschüttung der Fahrbahnplatte für Bausstellen- verkehr nicht zu messen!				1,798			-23	-24
" 2'	201,614	1,614	1,612	1,612					1,595			-17	-19
" 3'	201,413	1,413	1,413	1,411					1,395			-16	-18
" 4'	201,165	1,163	1,162	1,162					1,146			-16	-19
" 5'	200,948	0,950	0,950	0,950					0,935			-15	-17
" 6'	200,770	0,766	0,766	0,766					0,745			-21	-25
" 7'	200,613	0,612	0,612	0,611					0,586			-25	-27
MN 1'	201,889	1,889	1,890	1,888	1,873	1,870	1,868	1,869	1,868	-18	-20	-20	-21
" 2'	201,693	1,694	1,695	1,693	1,681	1,678	1,677	1,678	1,675	-15	-16	-18	-18
" 3'	201,506	1,507	1,508	1,508	1,494	1,490	1,489	1,490	1,488	-18	-19	-20	-18
" 4'	201,278	1,277	1,278	1,277	1,263	1,261	1,260	1,261	1,258	-16	-17	-19	-20
" 5'	201,042	1,042	1,043	1,041	1,028	1,026	1,025	1,024	1,024	-14	-15	-17	-18
" 6'	200,878	0,879	0,880	0,878	0,863	0,859	0,858	0,859	0,856	-19	-20	-22	-22
" 7'	200,697	0,696	0,697	0,695	0,680	0,679	0,679	0,678	0,673	-16	-16	-22	-24
	m									mm			
Datum:	28.9.67.	29.1.68.	1.3.68.	9.7.68.	21.10.68.	22.11.68.	12.12.68.	9.4.69.	15.10.69.	Messungen:  Straßenbauamt  Bad Gandersheim			
Temper.:		± 0°	-1°	+20°	+15°	+5°	-10°	+20°	+10°				



Setzung der Unterbauten

Bauwerk: Gi 2

im Zuge der Ortsumgehung  
Gittelde - B 243

Messpunkt			1			2			3			4			5			6		
Nr.	Datum	Bauzustand	Höhe ü. NN	Setzung seit der letzten ersten Messung in mm		Höhe ü. NN	Setzung seit der letzten ersten Messung in mm		Höhe ü. NN	Setzung seit der letzten ersten Messung in mm		Höhe ü. NN	Setzung seit der letzten ersten Messung in mm		Höhe ü. NN	Setzung seit der letzten ersten Messung in mm		Höhe ü. NN	Setzung seit der letzten ersten Messung in mm	
5	19/9.67	nach Flussschalen	194.703	—	—	194.682	—	—	194.616	—	—	194.666	—	—	194.051	—	—	194.032	—	—
6	1/12.67	Eigen gew.	194.700	3	3	194.679	3	3	194.612	4	4	194.662	4	4	194.046	5	5	194.027	5	5
7	29/1.68	"	194.700	0	3	194.677	2	5	194.612	0	4	194.662	0	4	194.044	2	7	194.025	2	7
8	1/3.68	"	194.700	0	3	194.677	0	5	194.612	0	4	194.662	0	4	194.044	0	7	194.025	0	7
9	9/7.68	"	194.700	0	3	194.677	0	5	194.612	0	4	194.661	1	5	194.044	0	7	194.024	1	8
10	27/10.68	Verkehrslast	194.696	4	7	194.668	9	14	—	—	—	194.651	10	15	—	0	7	—	0	8
11	12/12.68	"	194.692	4	11	194.664	4	18	—	—	—	194.647	4	19	194.034	10	17	194.011	13	2
12	12/12.68	"	194.692	0	11	194.664	0	18	—	—	—	194.647	0	19	194.034	0	17	194.011	0	2
13	1/4.69	"	194.691	1	12	194.662	2	20	—	—	—	194.646	1	20	194.032	2	19	194.009	2	2
14	15/10.69	"	194.687	4	16	Messpunkt beschädigt.			—	—	—	194.641	5	25	194.028	5	24	194.009	0	1
15	15/7.70	vor Verkehrsfreigabe	194.682	5	21	"	—	—	"	—	—	194.635	6	31	194.025	3	27	194.004	5	20
16	27/8.70	unter Verkehr	194.681	1	22	"	—	—	"	—	—	194.634	1	32	194.025	0	27	194.004	0	20
17	19/5.71	unt. Verkehr	194.681	0	22	"	—	—	"	—	—	194.634	0	32	194.025	0	27	194.003	1	21



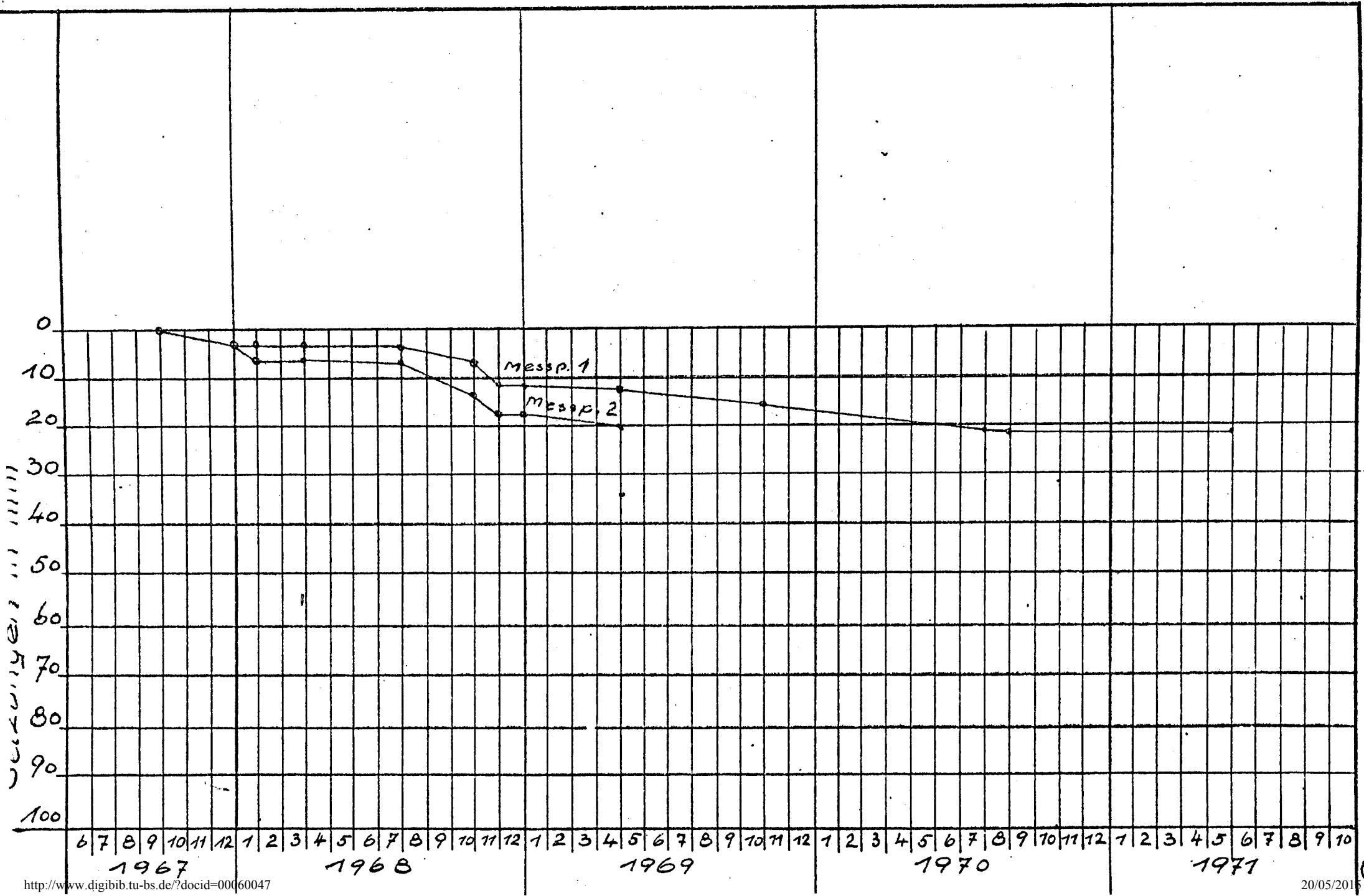


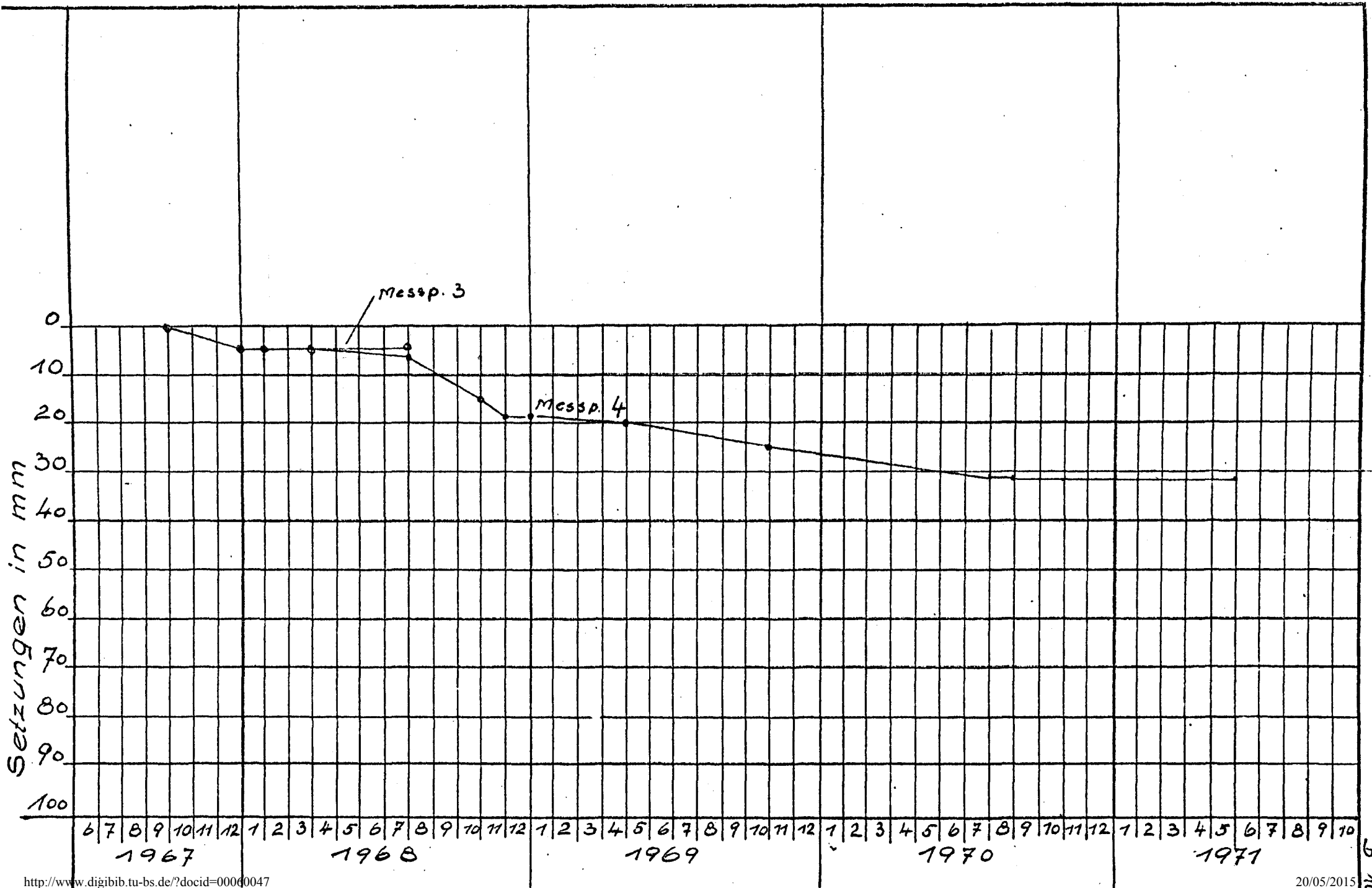


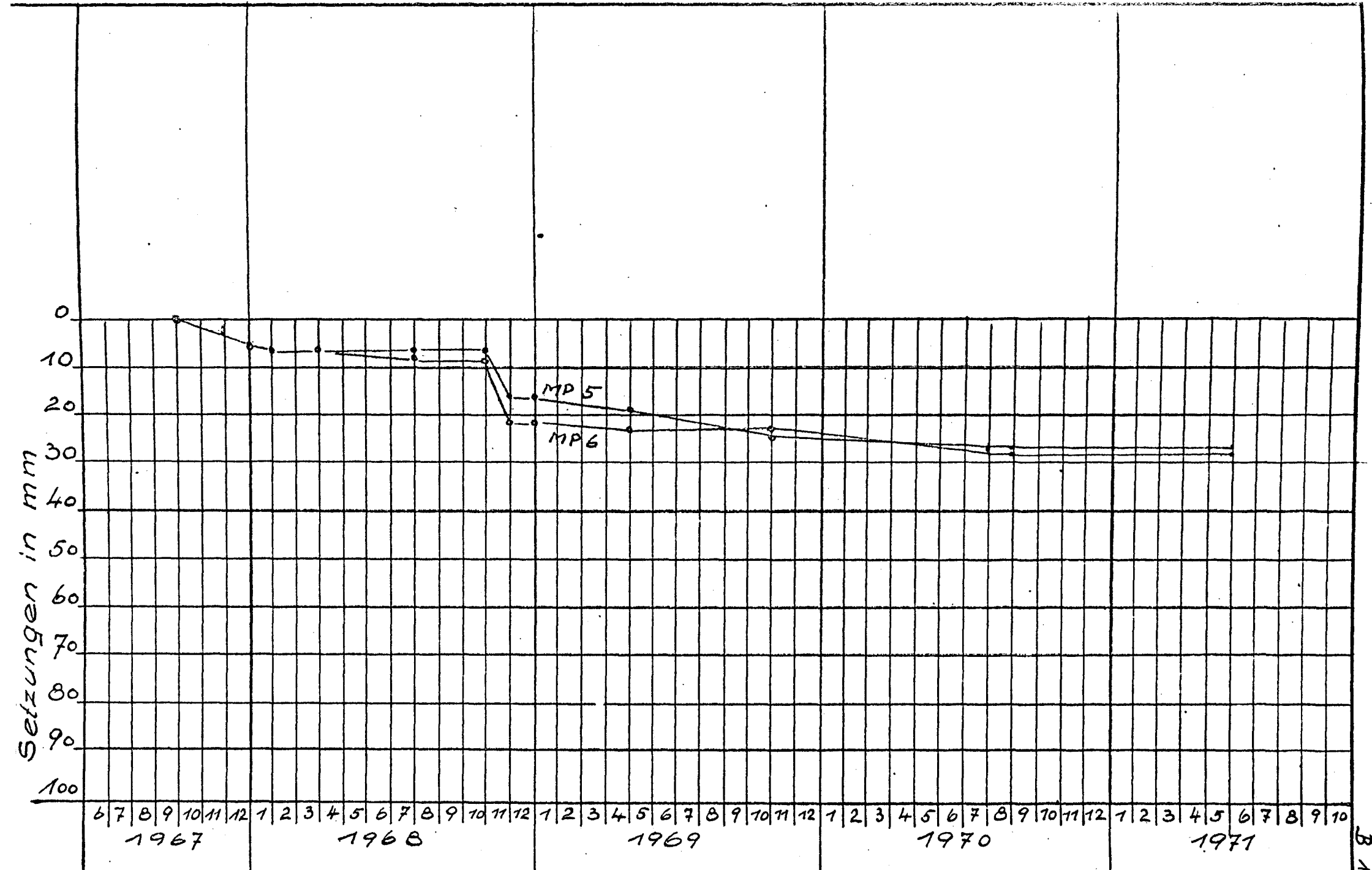


Messpunkt			25			26			27			28			29			30			
Nr.	Datum	Bauzustand	Höhe ü. NN	Setzung seit der letzten ersten Messung in mm		Höhe ü. NN	Setzung seit der letzten ersten Messung in mm		Höhe ü. NN	Setzung seit der letzten ersten Messung in mm		Höhe ü. NN	Setzung seit der letzten ersten Messung in mm		Höhe ü. NN	Setzung seit der letzten ersten Messung in mm		Höhe ü. NN	Setzung seit der letzten ersten Messung in mm		
5			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	195,245	-	-	195,107	-	-	
6			200,171	-	-	200,448	-	-	200,192	0	0	200,661	0	0	-	-	-	-	-	-	
7			171	0	0	448	0	0	192	0	0	660	1	1	242	3	3	195,104	3	3	
8			171	0	0	447	1	1	193	+1	+1	661	+1	0	241	1	4	103	1	4	
9			169	2	2	445	2	3	190	3	2	658	3	3	240	1	5	103	0	4	
10			153	16	18	428	17	20	-	-	-	640	18	21	229	11	16	094	9	13	
11			153	0	18	426	2	22	-	-	-	640	0	21	229	0	16	094	0	13	
12			153	0	18	426	0	22	-	-	-	639	1	22	229	0	16	094	0	13	
13			151	2	20	424	2	24	-	-	-	639	0	22	226	3	19	092	2	15	
14	15/10.69		Messbolzen	müssen					erst wieder freigelegt werden						226	0	19	092	0	15	
15	15/1.70		Messbolzen	sind		zugelassen										195,222	4	23	195,083	4	15
16	27/2.70	unter Verk.	"			"			"			"			195,221	1	24	195,087	1	20	
17	19/5.71	"	"			"			"			"			195,221	0	24	195,087	0	20	
													</								

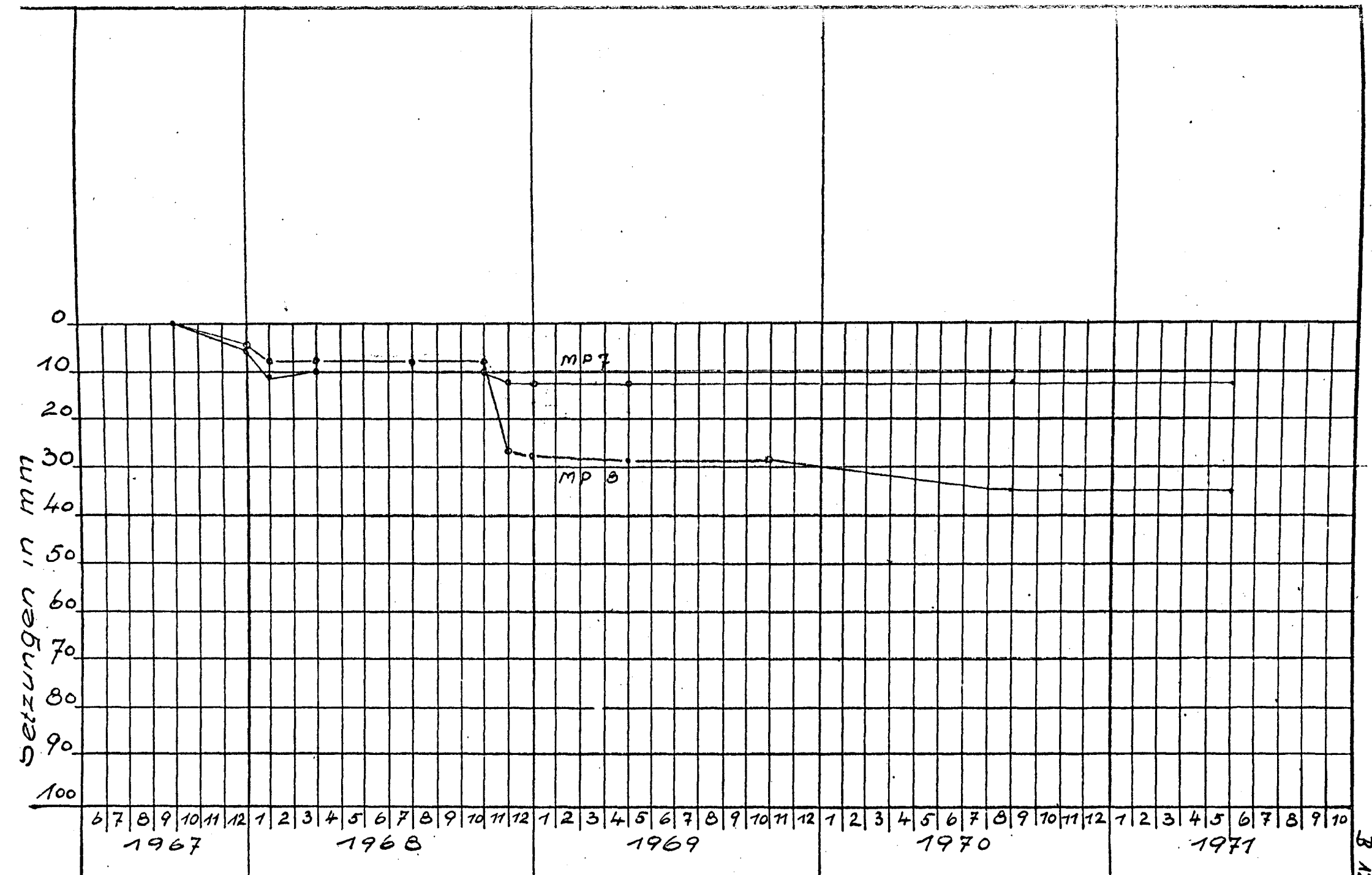
Messpunkt			3 1			3 2											
N.	Datum	Bauzustand	Höhe ü. NN	Setzung seit der letzten/ersten Messung in mm		Höhe ü. NN	Setzung seit der letzten/ersten Messung in mm		Höhe ü. NN	Setzung seit der letzten/ersten Messung in mm		Höhe ü. NN	Setzung seit der letzten/ersten Messung in mm		Höhe ü. NN	Setzung seit der letzten/ersten Messung in mm	
5			194.884	—	—	194.962	—	—									
6		Eisenbew.	—	—	—	—	—	—									
1			882	2	2	959	3	3									
3			882	0	2	959	0	3									
7			880	2	4	958	1	4									
0		Verkehrsl.	874	6	10	949	9	13									
1		"	874	0	10	950	+1	12									
2		"	873	1	11	949	1	13									
3		"	870	3	14	947	2	15									
4	15/10.89	"	868	2	16	945	2	17									
5	15/70	vor Freigabe	194.864	4	20	194.942	3	20									
6	27/8.71	unt. Verk.	194.864	0	20	194.941	1	21									
7	19/5.71	"	194.864	0	20	194.941	0	21									

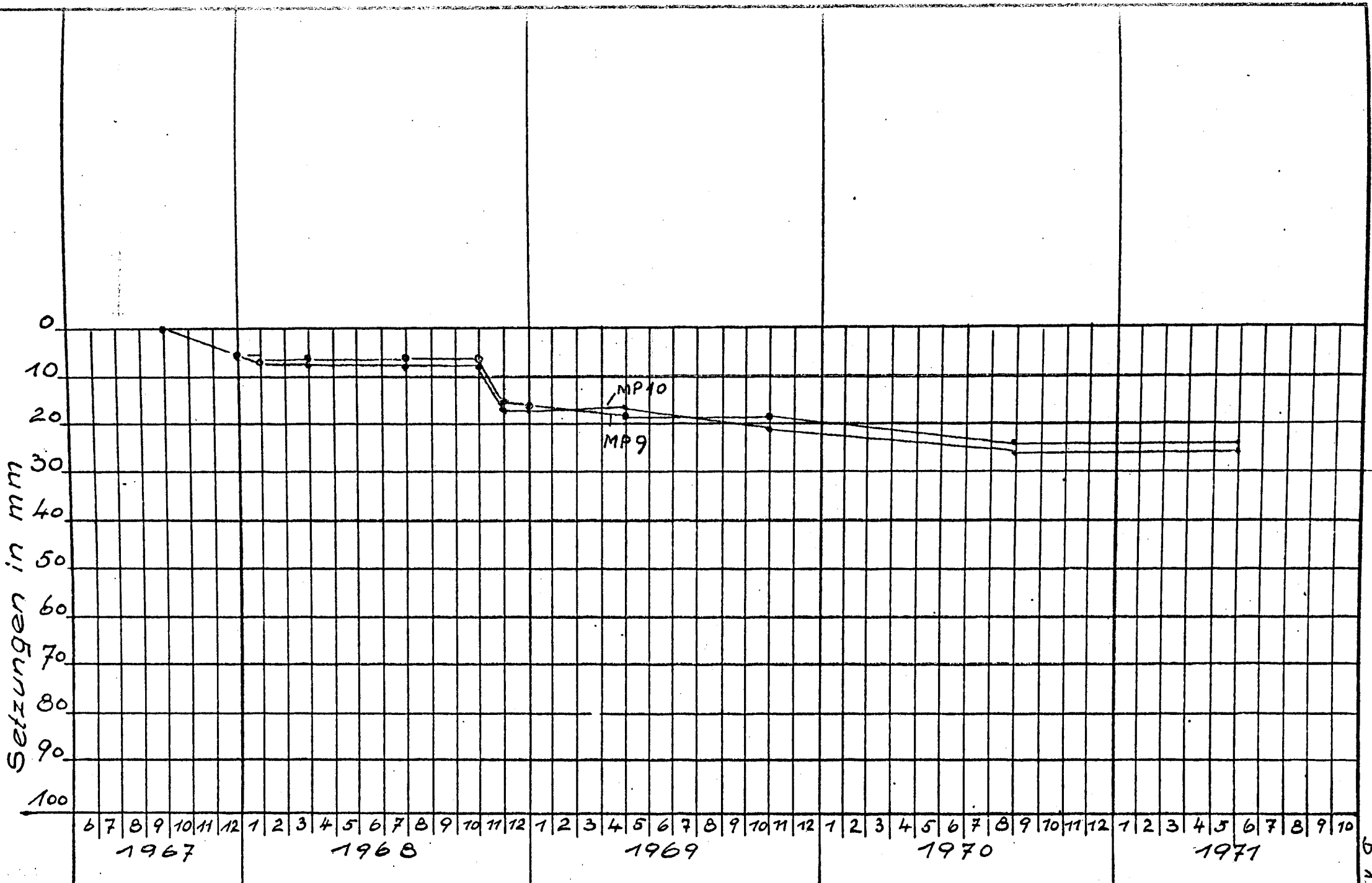


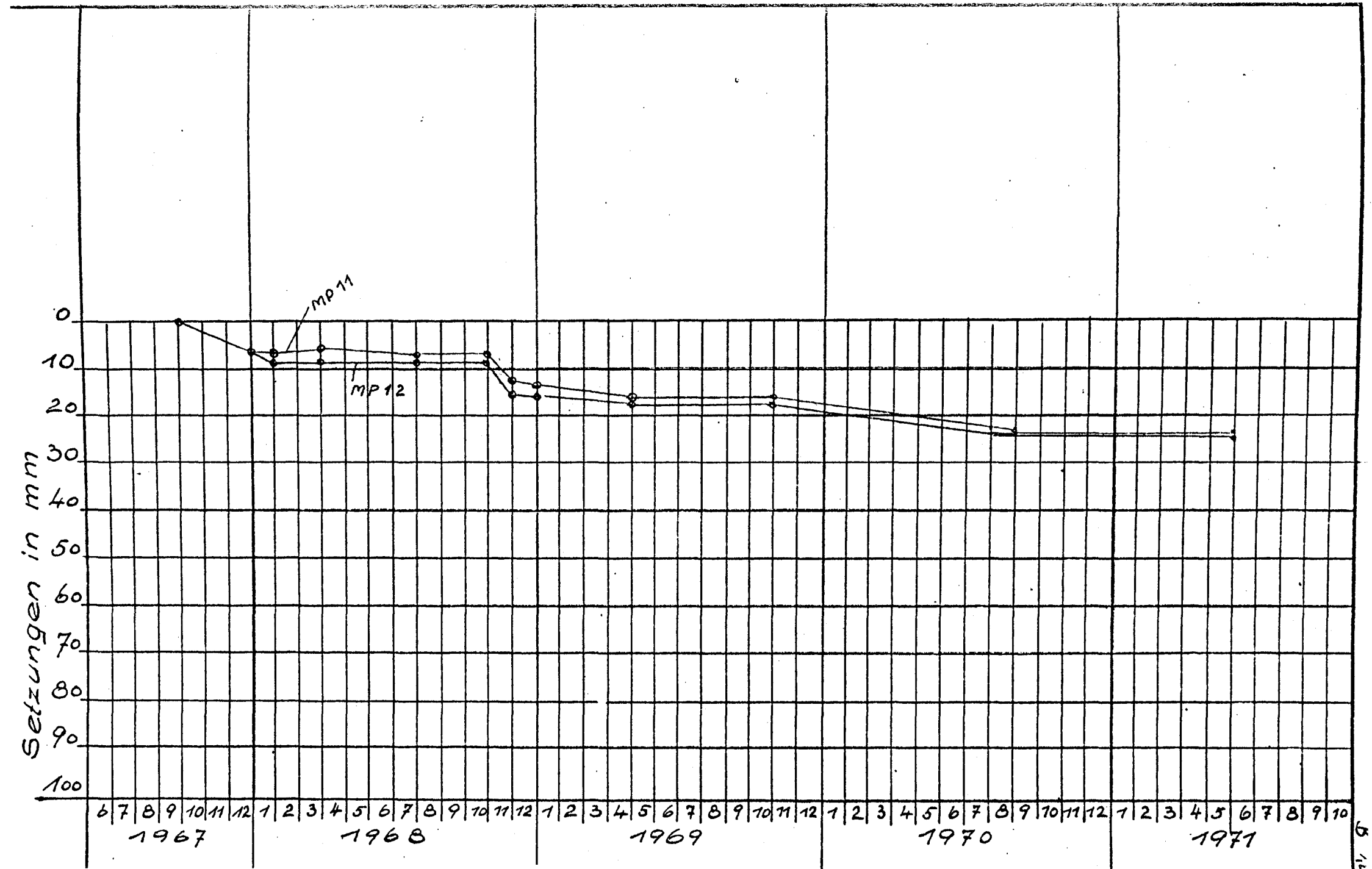


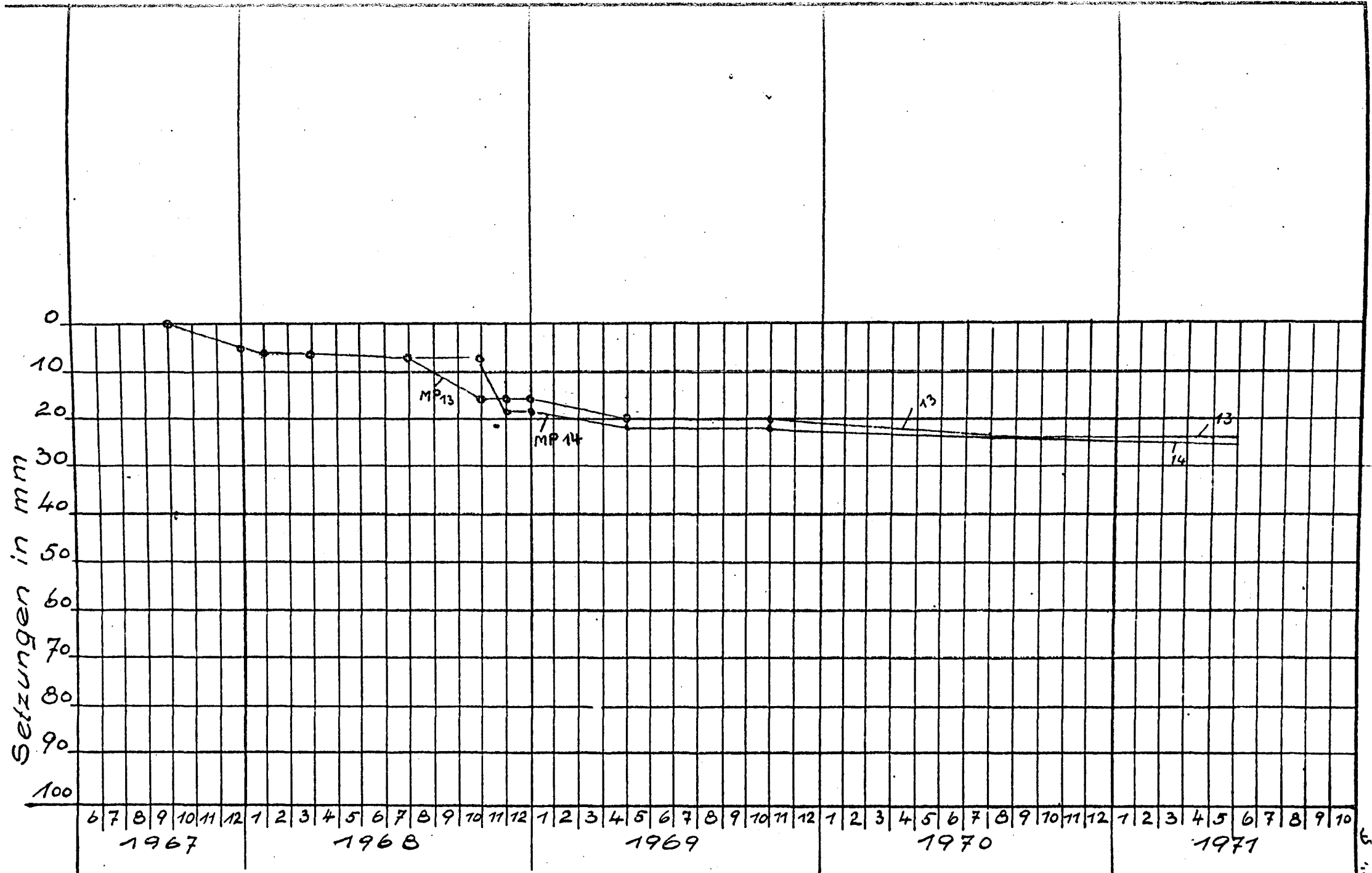


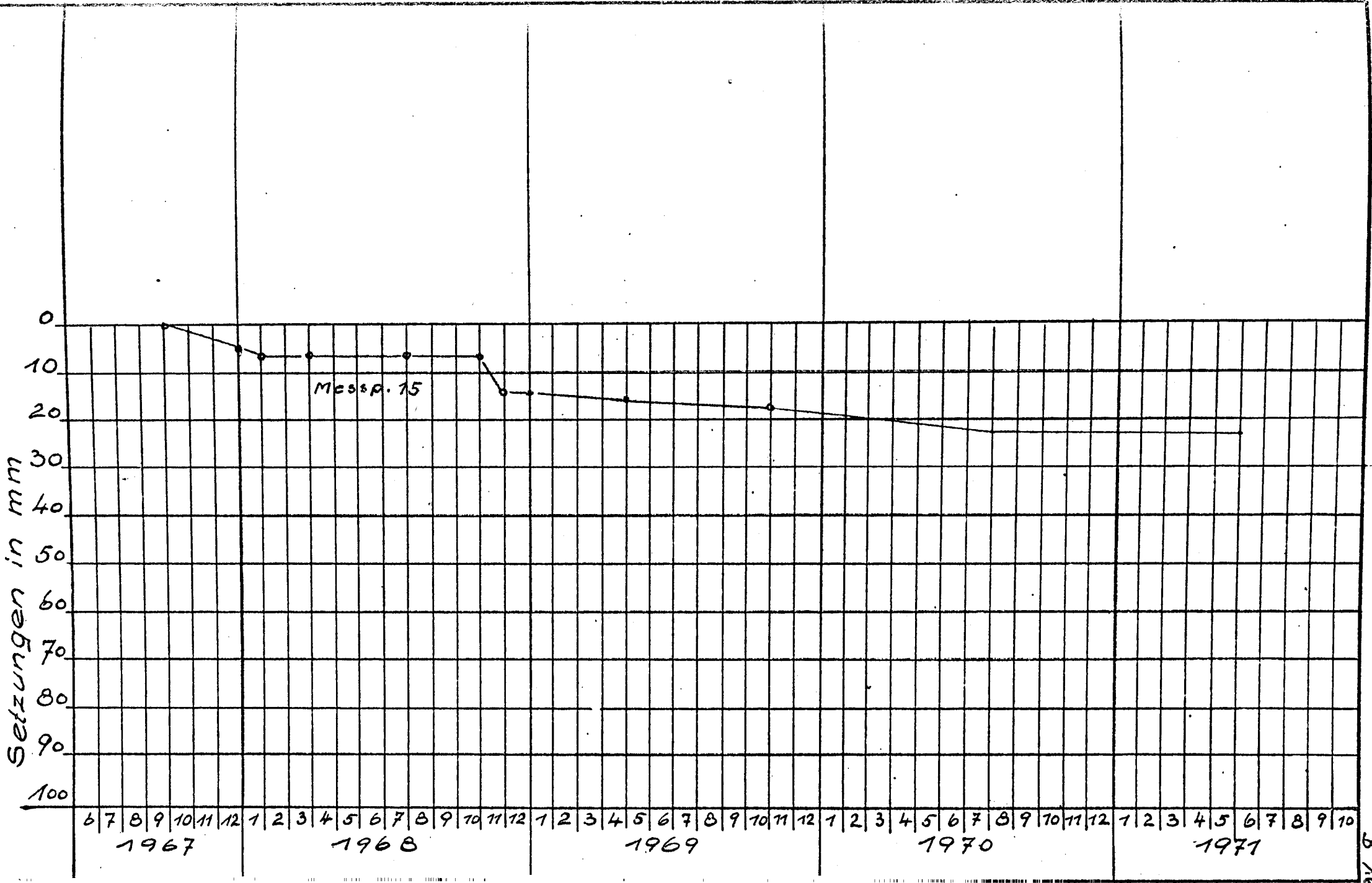


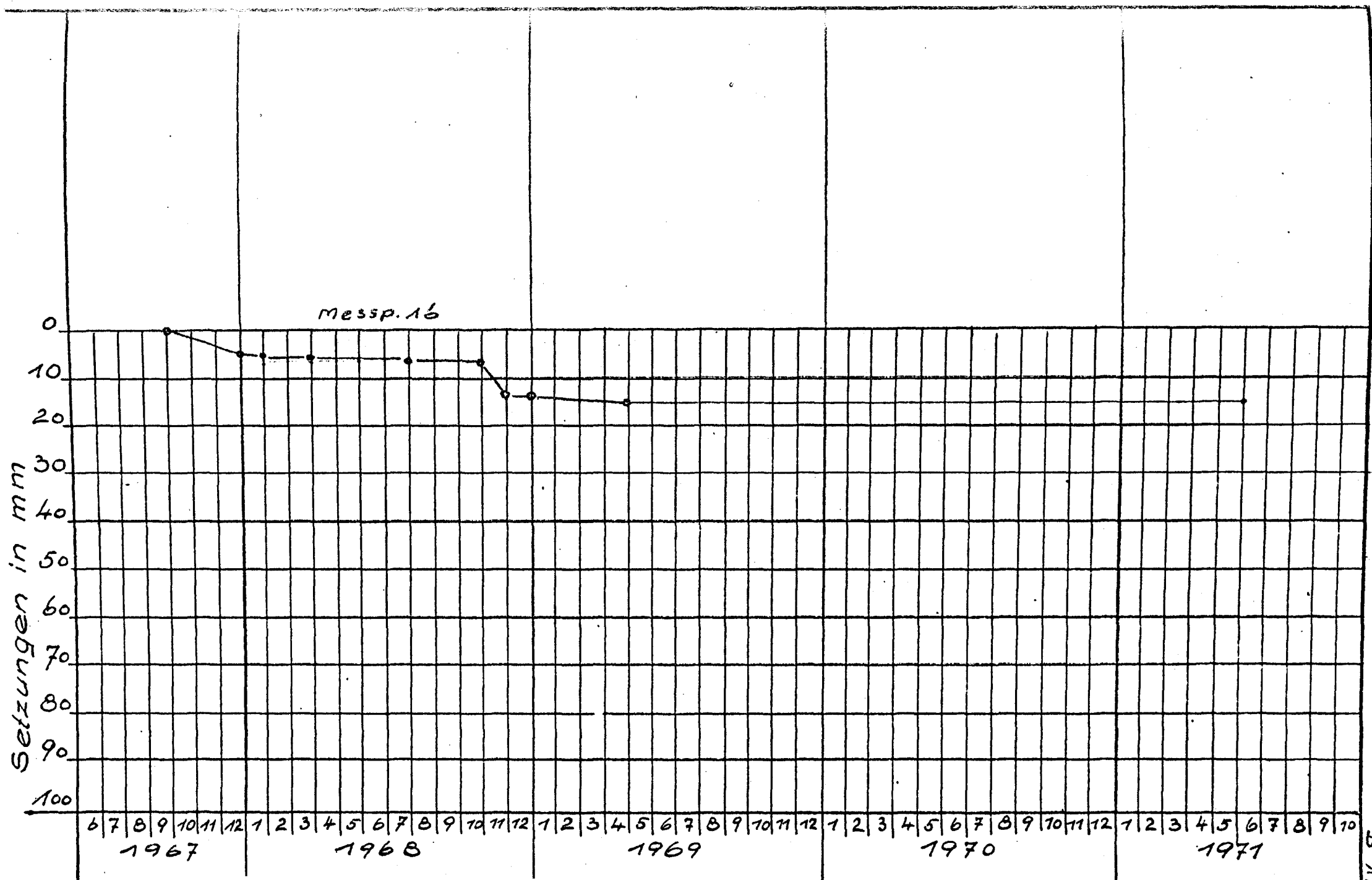


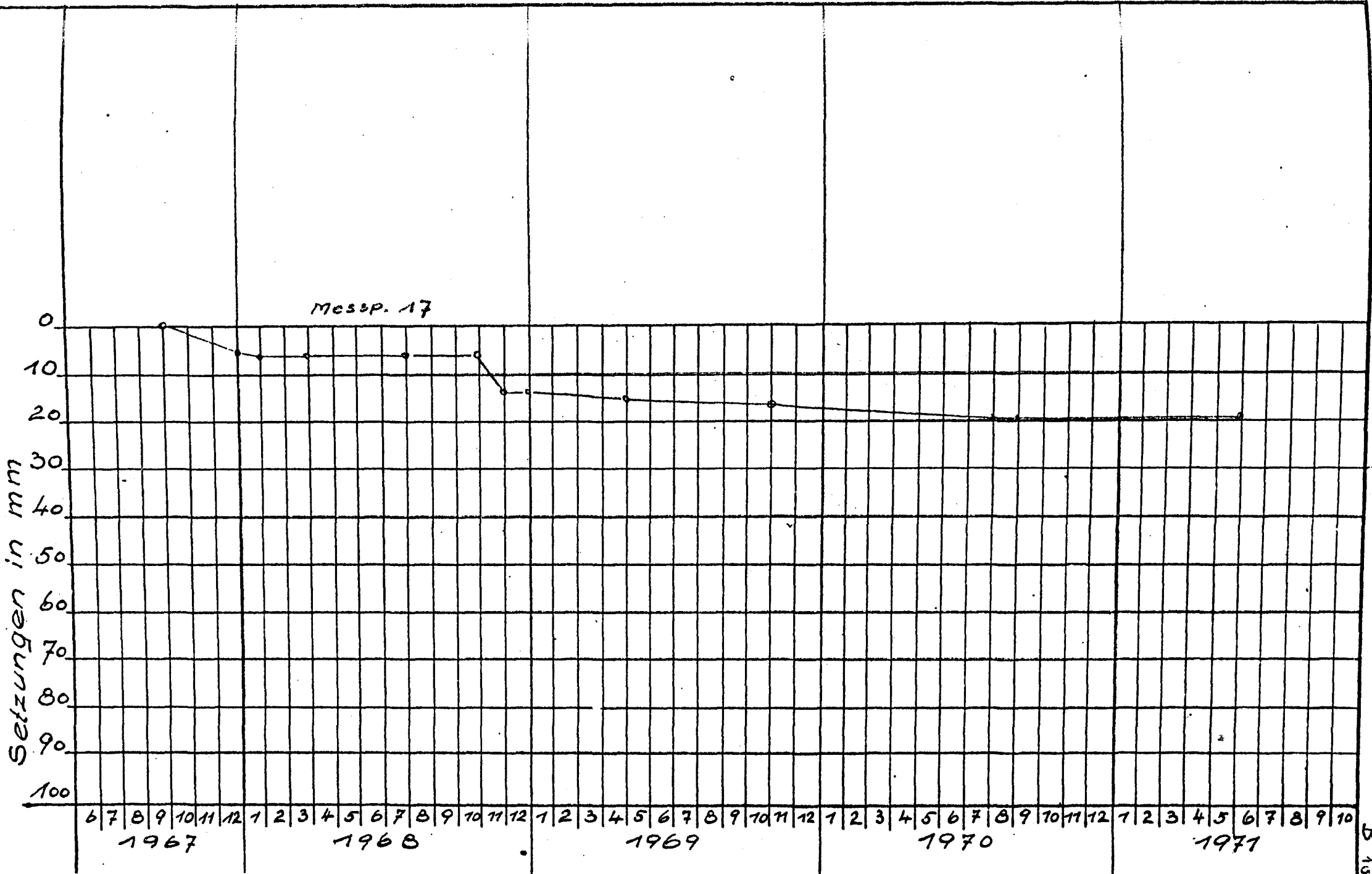


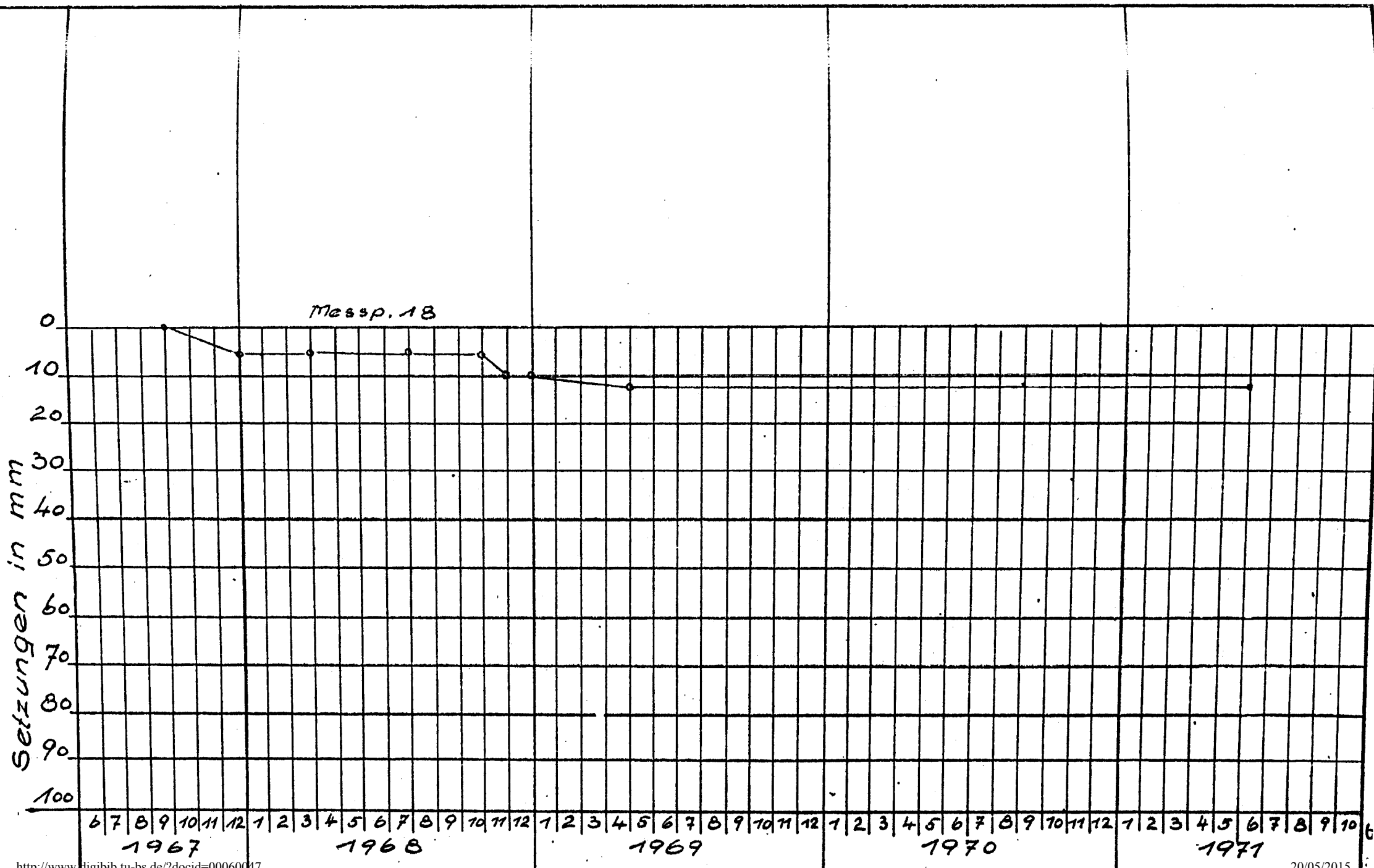




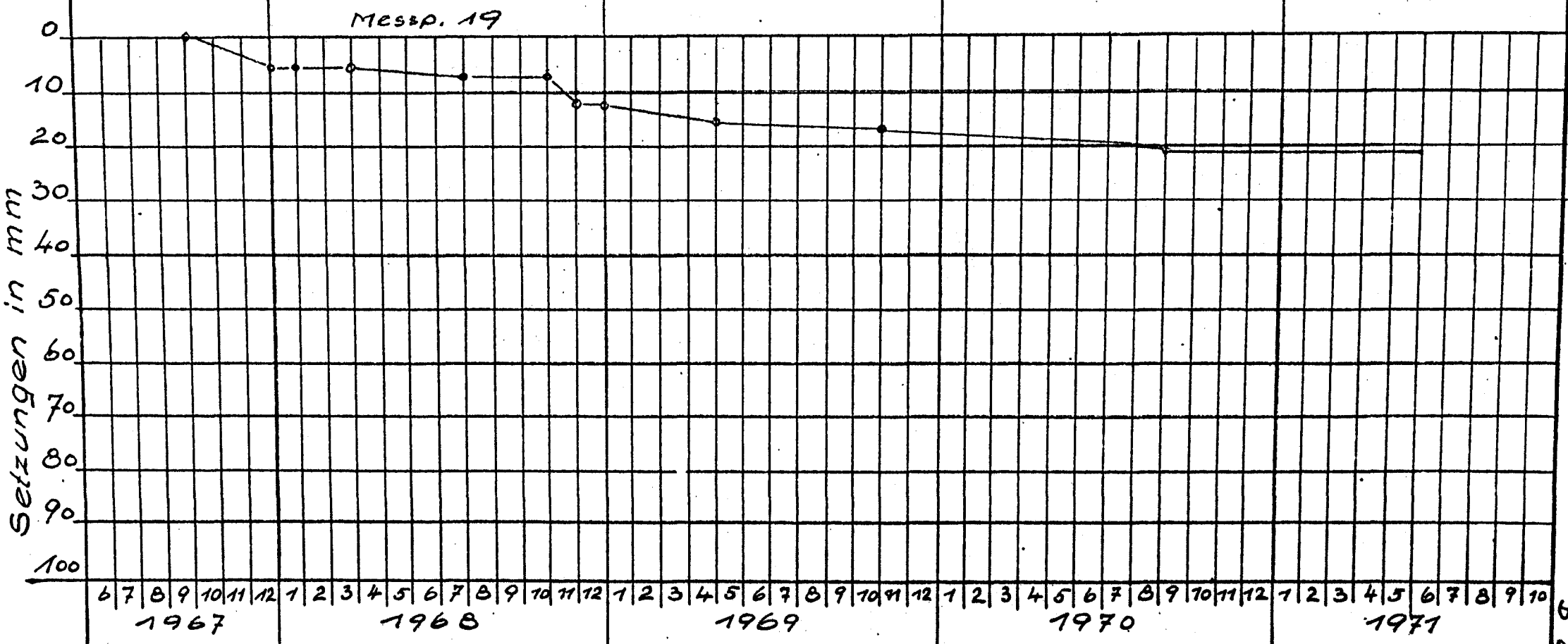


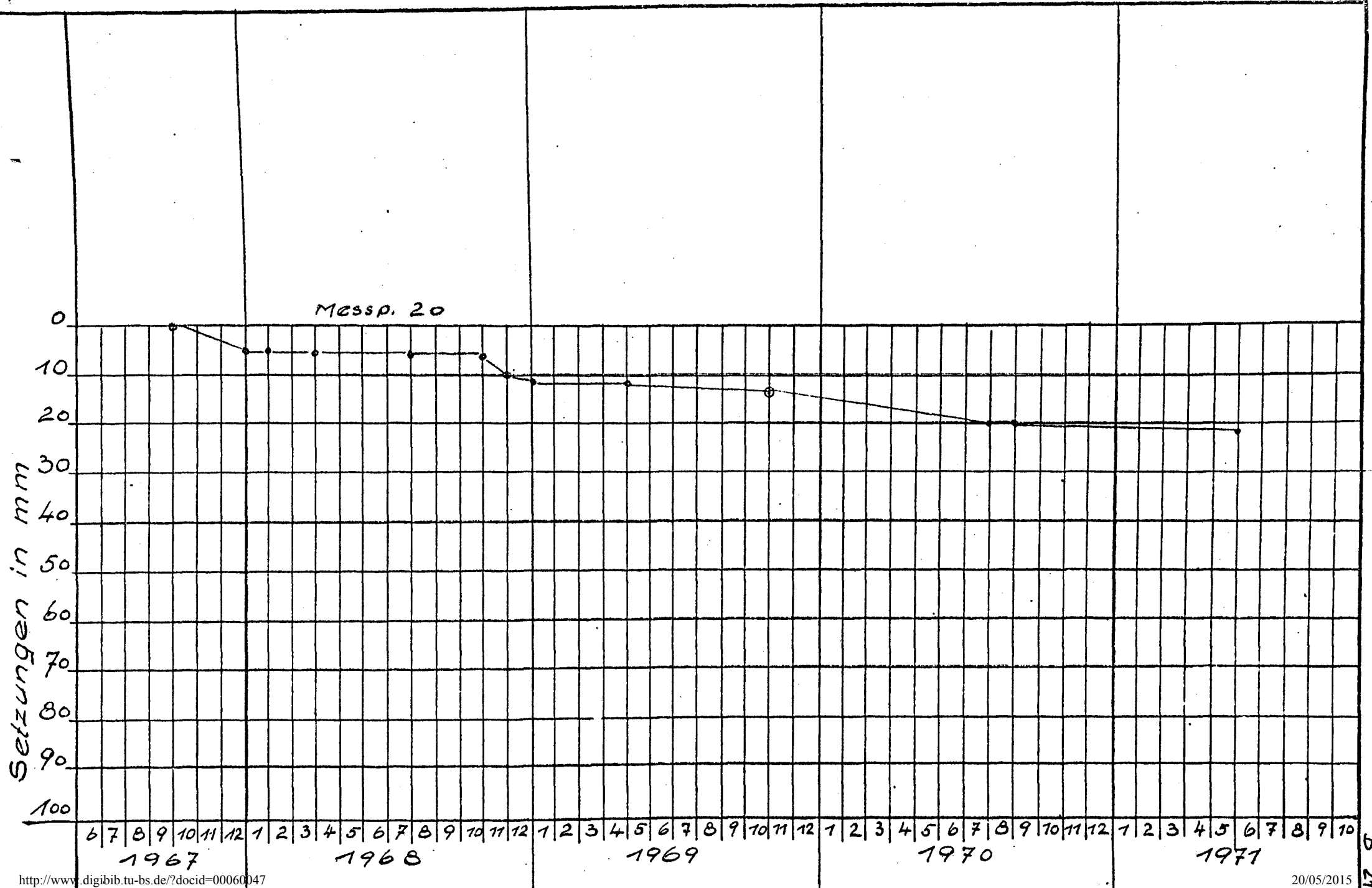


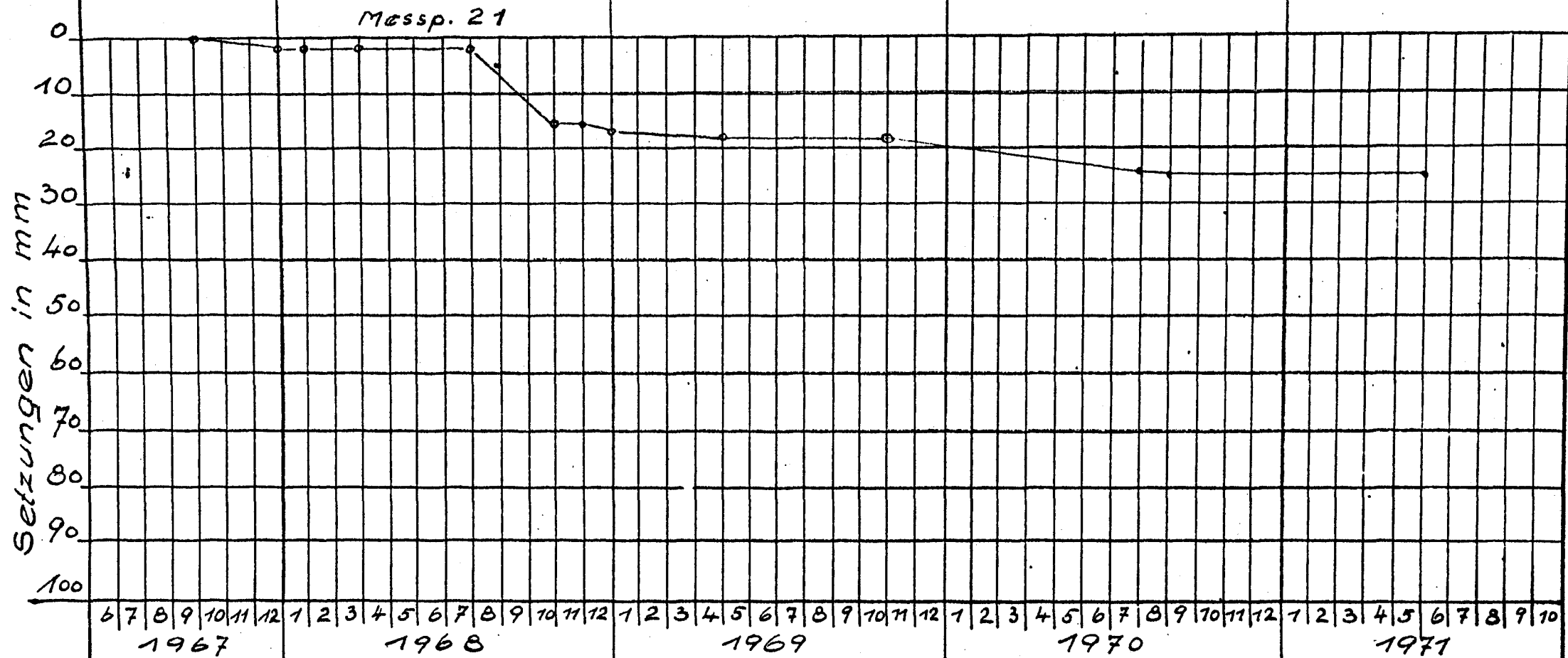


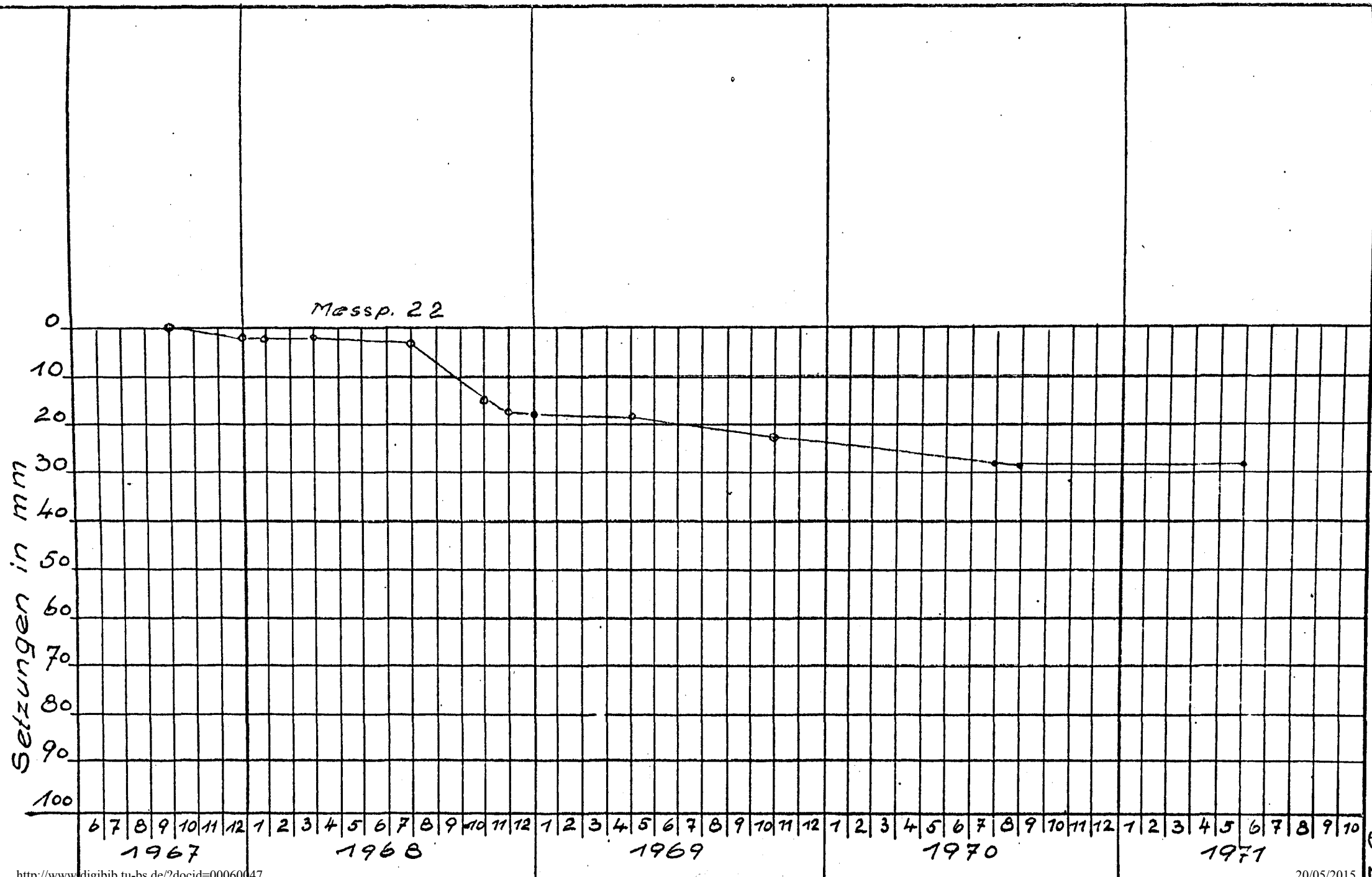


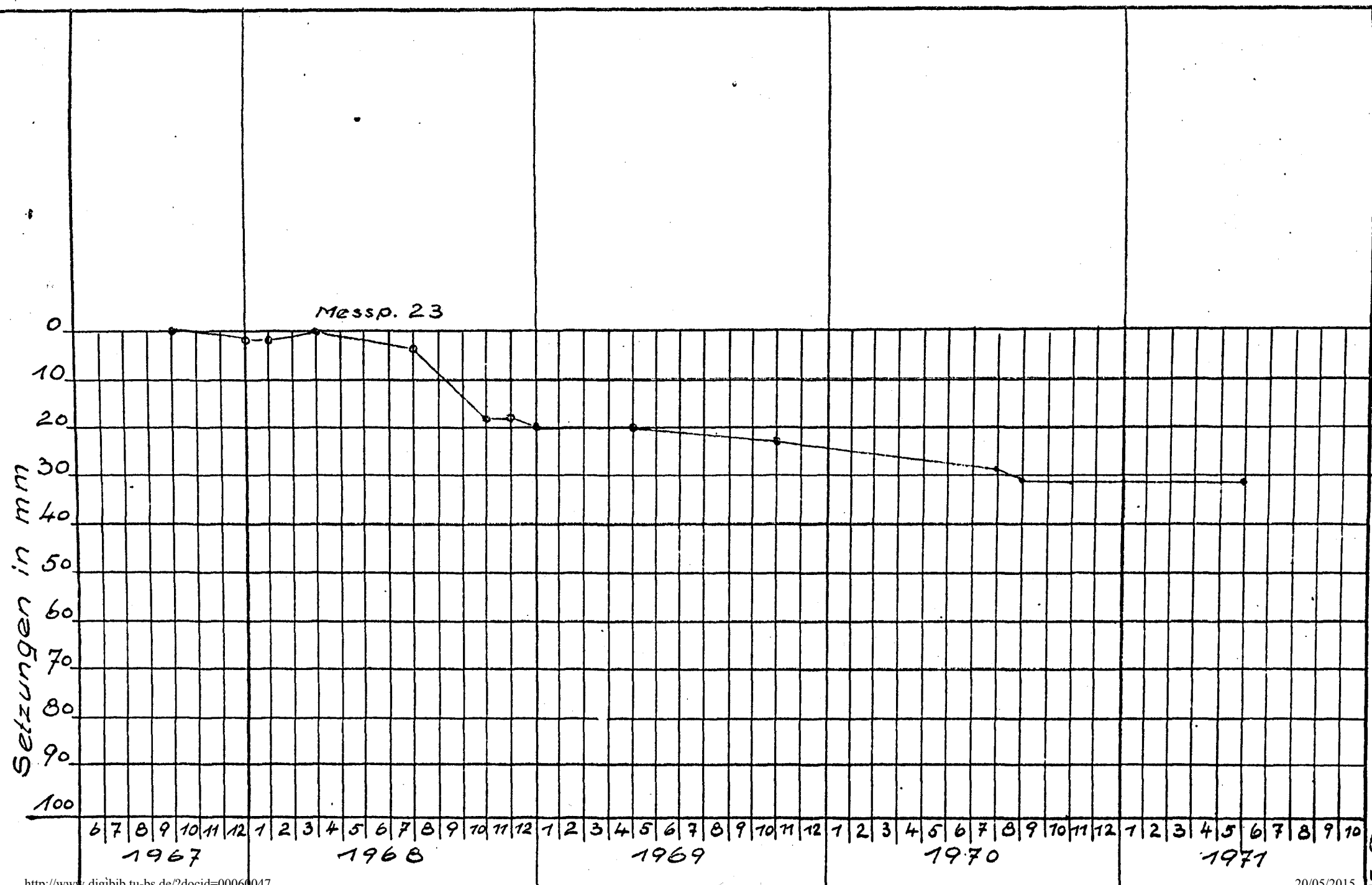


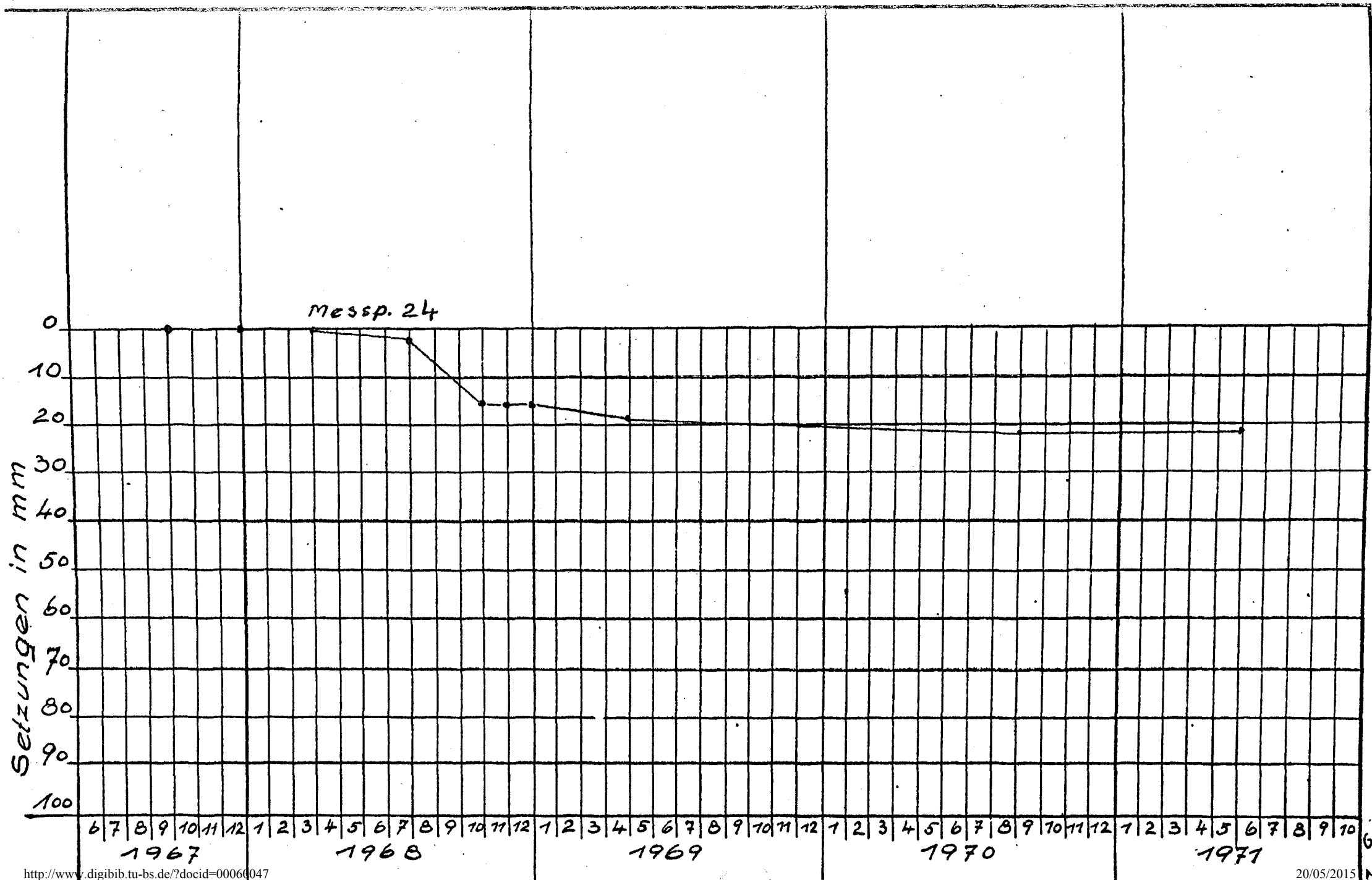












Höhenpunkt nicht  
mehr messbar. 27/8.70

Messp. 25

Setzungen in mm

0  
10  
20  
30  
40  
50  
60  
70  
80  
90  
100

6 7 8 9 10 11 12 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10  
1967 1968 1969 1970 1971

Höhenpunkt nicht  
mehr messbar.

27.8.68

Messp. 26

Setzungen in mm

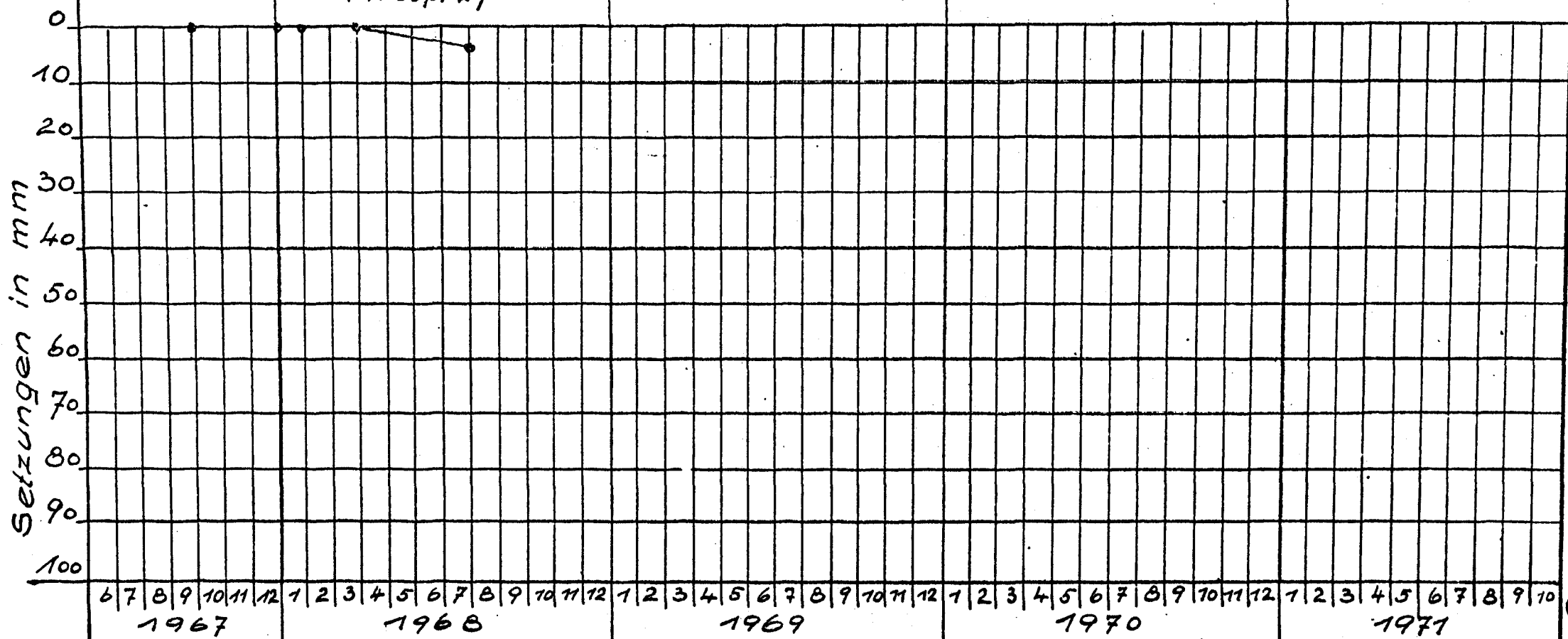
0  
10  
20  
30  
40  
50  
60  
70  
80  
90  
100

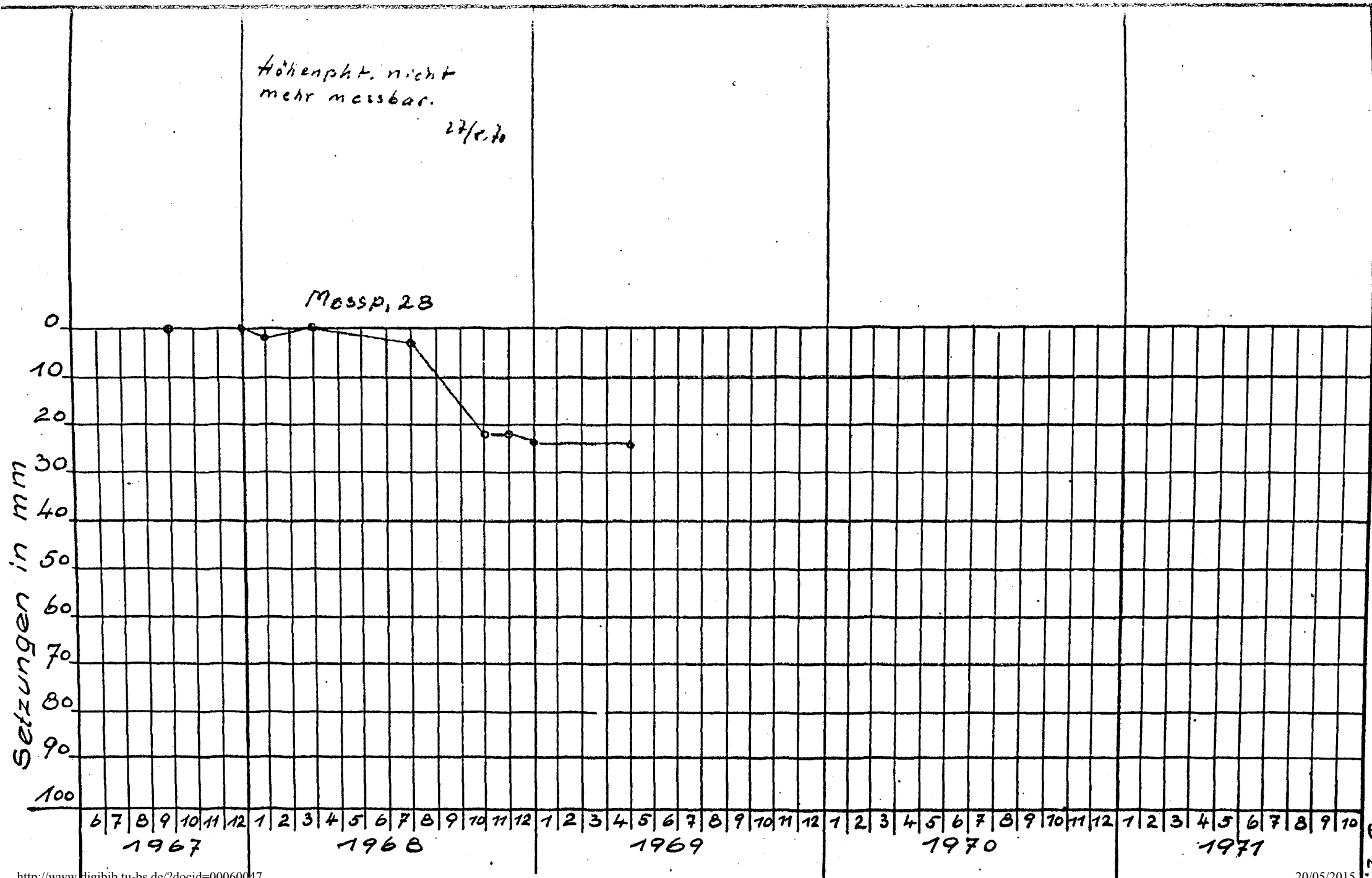
6 7 8 9 10 11 12 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10  
1967 1968 1969 1970 1971

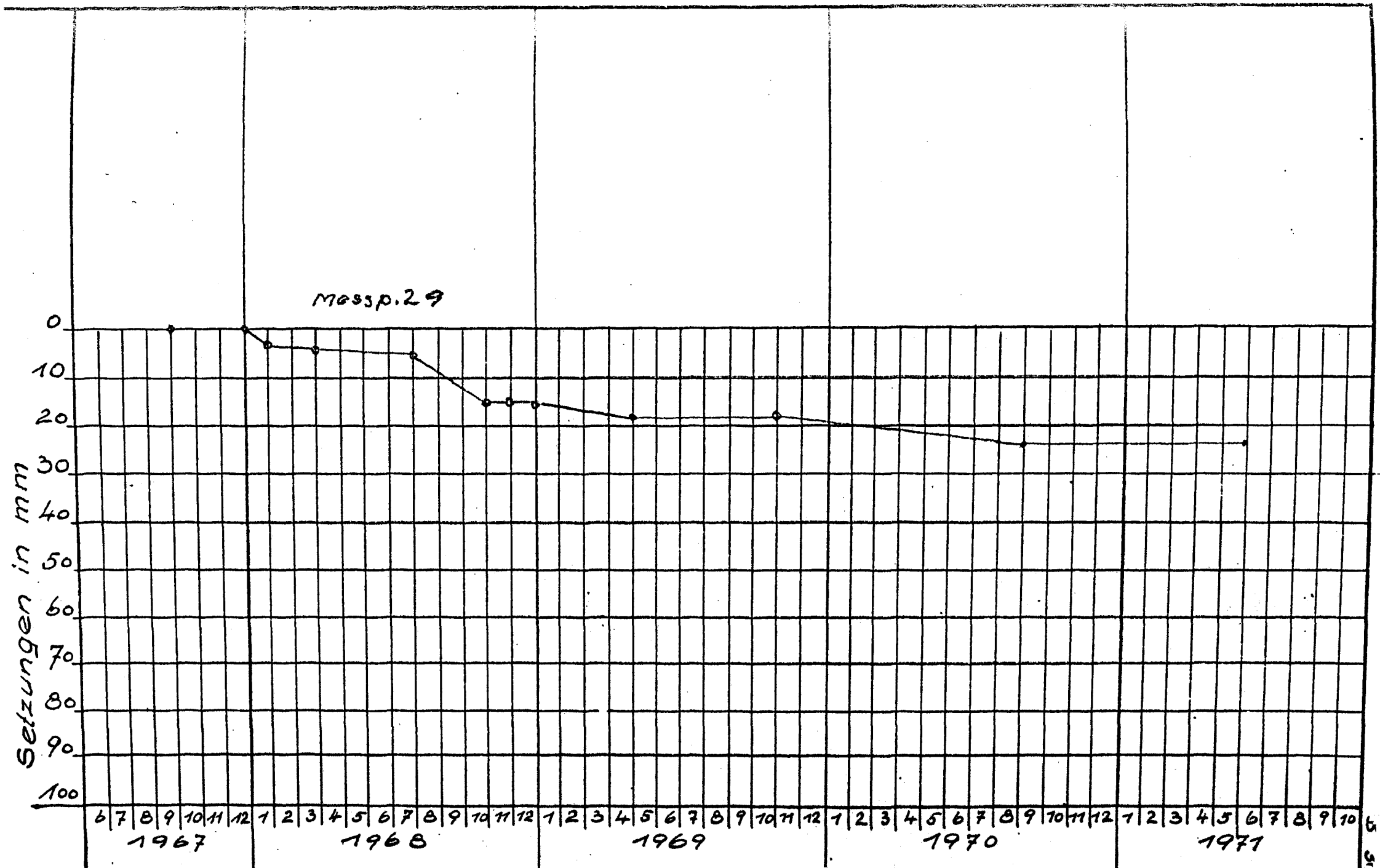


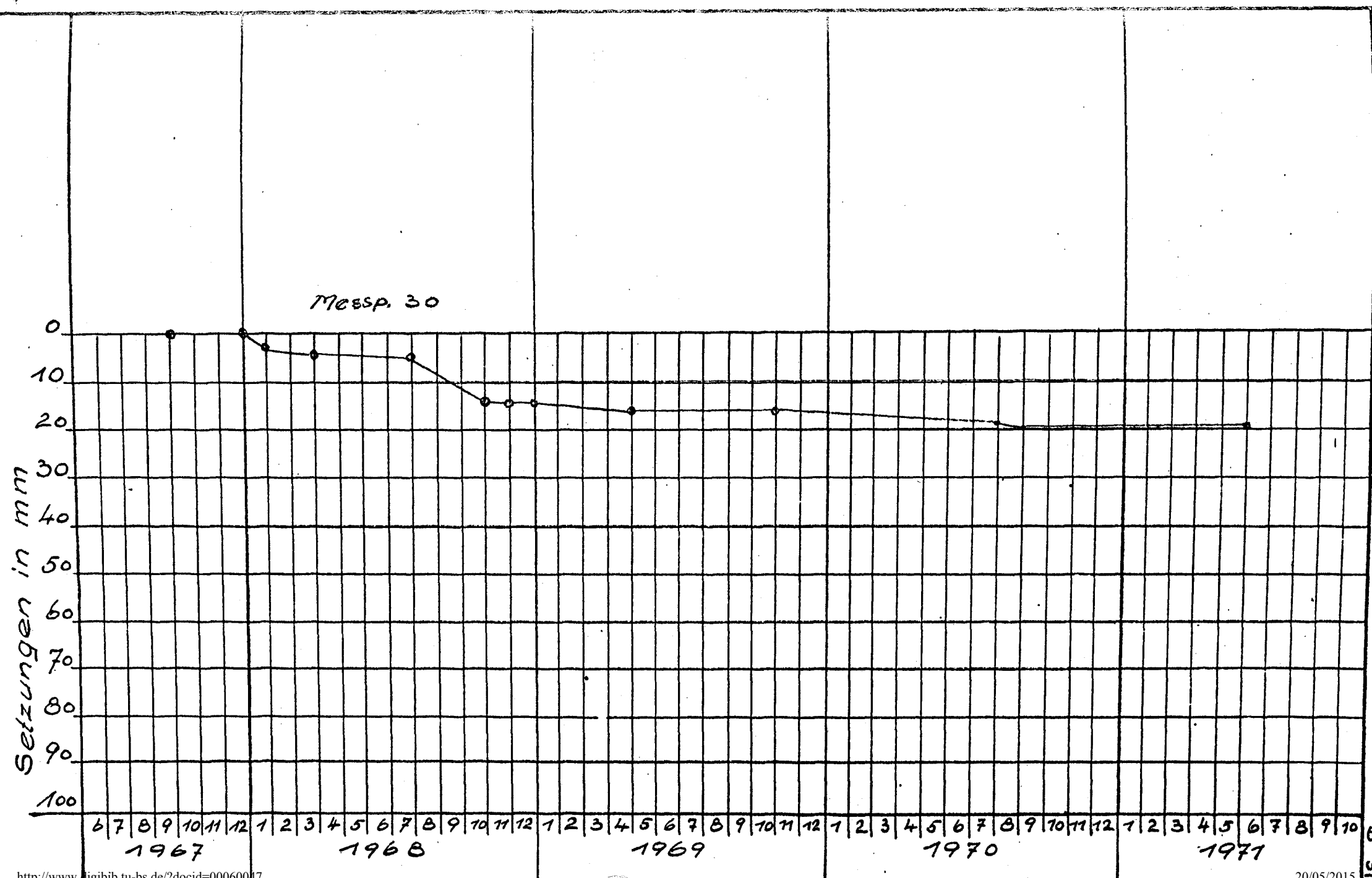
Höhenpunkt nicht  
mehr messbar.  
27. 8. 70.

Messp. 27









Messp. 31

